



**Université de Montpellier
Ecole Doctorale GAIA**



Partenariat et modélisation pour la Co- conception de systèmes agricoles innovants

**Nadine Andrieu
CIRAD-UMR Innovation**

**Mémoire présenté pour l'Habilitation à Diriger des Recherches
Déposé en avril 2019, autorisé à défendre en septembre 2019 et soutenu le 5
février 2020**

Membres du Jury :

**Michel Duru (Examineur), Marie-Hélène Jeuffroy (Rapporteuse), Eric
Malézieux (Rapporteur), Sylvain Perret (Président du Jury), Olivier
Therond (Rapporteur)**



Table des matières

Remerciements	6
Avant-propos	7
I. CV, publications , encadrements d'étudiants et projets	8
1. Curriculum vitae.....	9
2. Publications et co-encadrements d'étudiants	11
A. Publications soumises	12
B. Articles publiés dans les revues à facteur d'impact	
C. Articles publiés dans les revues à comité de lecture, sans facteur d'impact.....	15
D. Chapitres d'ouvrage.....	16
E. Principaux produits opérationnels	18
F. Encadrements de masters	18
G. Co-Encadrement de doctorats	20
H. Co-Encadrement de post-doctorat.....	20
3. Obtention de contrats de recherche	21
II. Elaboration d'une démarche de co-conception de systèmes de production innovants	22
1. Synthèse Coursus	23
2. Introduction : La co-conception de systèmes de production innovants	26
2.1. La conception de systèmes de production innovants pour faire face aux défis posés à l'agriculture contemporaine.....	26
2.2. La spécificité des démarches de conception de systèmes de production agroécologiques.....	27
2.3. Objectifs spécifiques mes travaux visant à co-concevoir des systèmes de production innovants	29
3. Une démarche de recherche en partenariat pour la co-conception de systèmes de production innovants	33
3.1. Démarche globale	33
3.2. Mise en application pour la co-conception de systèmes agriculture-élevage	37
3.3. Mise en application pour la co-conception de systèmes faisant face aux défis posés par le changement climatique.....	42
4. Résultats produits sur la co-conception de systèmes de polyculture-élevage au Burkina Faso	47
4.1. Diagnostic des systèmes de polyculture élevage	48
4.2. Evaluation des compromis entre usages et usagers des résidus de culture.....	51
4.3. Les expérimentations en milieu paysan	58
4.4. Evaluation avec les acteurs de la démarche et des outils.....	65
4.5. Conclusion partielle	68

5. Résultats produits sur la co-conception de systèmes de production climato-intelligents	70
5.1. Diagnostic sur les connaissances et stratégies actuelles des producteurs pour faire face au CC	71
5.2. Analyse des compromis entre les piliers de l'agriculture climato-intelligente	72
5.3. Expérimentation en milieu paysan	74
5.4. Evaluation de la démarche	75
5.5. Quels leviers (soutien à l'innovation, ou politiques agricoles) pourraient favoriser l'innovation ou l'adoption ?	78
5.6. Conclusion partielle.....	80
6. Leçons tirées sur la mise en application des démarches de co-conception de l'innovation	82
6.1. Quelles spécificités des démarches de co-conception mobilisées.....	82
6.2. Quels produits issus de ces démarches ?	84
III. Projet scientifique : écosystème d'innovation et co-conception de systèmes de production adaptés au changement climatique.....	88
1. Introduction	89
2. Cadre méthodologique	91
2.1. Le diagnostic	91
2.2. La mobilisation de l'écosystème d'innovation.....	92
2.3. La modélisation ex-ante	94
2.4. L'expérimentation	94
2.5. Evaluation du processus	95
3. Quel rôle de l'agronome au sein de l'écosystème d'innovation ?.....	96
4. Les projets de recherche au service du projet scientifique.....	96
Conclusions	99

Liste de Figures

Figure 1: Etapes de mon cursus, projets, acteurs et outils principaux mobilisés pour la co-conception de systèmes de production	25
Figure 2 : Structure générale de la démarche méthodologique utilisée dans les travaux de co-conception de systèmes innovants.....	36
Figure 3: Apports d'engrais minéraux et organiques en fonction de la distance au siège de l'exploitation à Yilou et Koumbia.....	49
Figure 4: Connaissances des producteurs sur les liens entre les composantes de l'intégration agriculture-élevage	50
Figure 5: Comparaison de différents scénarios pour les différents types d'exploitations, A: Le revenu moyen calculé pour 10 années simulées, la barre d'erreur montrant l'écart-type, B: coefficient de variation du revenu, C: Bilan fourrager moyen, D: coefficient de variation du bilan fourrager, E: bilan céréalier moyen, F: coefficient de variation du bilan céréalier.....	52
Figure 7: Indicateurs de fertilité pour les scénarios "stocks fourragers" et "compost" en fonction du pourcentage de ramassage des résidus de culture	54
Figure 6: Déplacement simulé des animaux du village durant la saison des pluies sur les zones de pâturages (gris foncé) les zones cultivées (bleu pâle), les cours d'eau (bleu foncé), les zones protégées (vert), les routes (marron), et les bâtiments (en jaune les campements des éleveurs et en marron pâle les maisons des populations sédentaires)	54
Figure 8: Comparaison du bilan fourrager simulé en S0 et S1	57
Figure 9: Production de fourrage et de fumure organique mesurée après le processus d'accompagnement des agriculteurs avec chacun des outils (% de la valeur initiale).....	66
Figure 10: Changement de pratiques par les membres des plateformes à Koumbia, Yilou et Sindri	68
Figure 11: Analyse des réseaux sociaux réalisée pour les producteurs dits "sceptiques"	72
Figure 12: Performances relatives de l'exploitation selon les piliers de l'agriculture climatique après l'introduction d'un portefeuille de pratique.....	73
Figure 13: Rendement obtenu pour les variétés résistantes à la sécheresse testées au Honduras	75
Figure 14: Analyse à l'échelle du système de culture café, des principales contributions au (a) au changement climatique, (b) à l'acidification, pour le scénario de base et celui avec introduction de compost pour les 5 types d'exploitations rencontrées dans le site d'étude.....	76
Figure 15: Ressources financières investies par les 30 producteurs faisant partie de l'expérimentation de techniques pour faire face au changement climatiques	78
Figure 16: Raisons énoncées par les producteurs pour expliquer pourquoi les techniques ont été introduites au sein de leur exploitation.....	78
Figure 17: Les portefeuilles de changements techniques identifiés au Mali.....	80
Figure 18 : Superposition des réseaux sociaux commerciaux et informationnels entre les agriculteurs et les acteurs du territoire de Nord Grande terre en Guadeloupe	92

Liste des tableaux

Tableau 1: Synthèse des contextes, enjeux et systèmes co-concus dans mes travaux	32
Tableau 2 : Protocole général d'expérimentation	39
Tableau 3: Principaux indicateurs mesurées dans l'outil « CSA calculator ».....	45
Tableau 4 : Quelques caractéristiques des villages d'étude.....	48
Tableau 5: Bilans minéraux partiels à l'échelle des exploitations à Koumbia, Burkina Faso. 48	
Tableau 6 Variation des données d'entrée pour les scénarios S0 and S1 et pour les six exploitations analysées	56
Tableau 7 : producteurs expérimentateurs des différentes options techniques	61
Tableau 8: Evolution du nombre d'animaux embouchés et des surfaces fourragères au sein d'un réseau d'expérimentateurs de la démarche de co-conception de 2008 à 2012	62
Tableau 9: Comparaison des performances des systèmes conventionnels et ceux basés sur les principes de l'agriculture de conservation à Yilou, Sindri et Koumbia	64
Tableau 10: Analyse de variance et moyennes obtenues pour les 9 connaissances évaluées..	77
Tableau 11 : Liste des projets de recherche au service du projet scientifique	98

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Michel Duru qui m'a donné durant ma thèse l'envie de m'investir dans la recherche agronomique et que j'ai sollicité à nouveau pour la relecture de ce document. Son point de vue sur mon évolution entre ces deux étapes a été extrêmement enrichissant et j'ai été heureuse qu'il accepte de m'appuyer une nouvelle fois.

Je remercie également Patrick Dugue et Pierre-Yves Le Gal, mes collègues de la première heure au sein de l'unité de recherche IDEAS ensuite intégrée au sein de l'UMR Innovation. A travers eux j'ai essayé de garder le lien avec l'agronomie de l'exploitation.

Je remercie également Eduardo Chia qui a été l'un des premiers à m'« adopter » au sein de mon unité de recherche et à me faire confiance. Il a surtout beaucoup influé sur ma posture de recherche avec les acteurs de terrain.

Je remercie également tous mes autres collègues de l'UMR Innovation et tous ceux que j'ai rencontrés au gré de mes affectations successives qui ont joué un rôle clé dans l'évolution de mes travaux : en particulier les collègues de l'Unité Urpan au Cirades ou de Dapa au CIAT et les « ciradiens » avec qui j'ai collaboré au Brésil au Burkina Faso et en Colombie (en particulier Eric Vall, Marc Corbeels, Jean-François Le Coq).

Je remercie également tous les acteurs de terrain (agriculteurs, techniciens, ONG) ainsi que les chercheurs des centres nationaux de recherche (INERA, INRA en particulier) qui m'ont patiemment expliqué les réalités de terrain dans les différents contextes dans lesquels j'ai pu travailler, les problématiques auxquelles ils étaient confrontés.

Je remercie enfin mes parents Nicole et Lucien, mon époux Cédric, et mes enfants Célian et Andréa pour leur patience, soutien et leur mobilité durant mes affectations successives.

Avant-propos

Mes travaux de recherche portent sur la co-conception de systèmes de production innovants avec les acteurs locaux, principalement les agriculteurs. Ces travaux menés essentiellement dans des pays du Sud ont conduit à une diversité de résultats que je présente dans ce document. Mais les « résultats » les plus concrets obtenus sont les étudiants qui ont été formés dans le cadre des projets où je me suis investie et avec l'espoir qu'ils pourront renforcer les institutions de recherche et de développement de leur pays. L'une des motivations principales de cette candidature à l'HDR est de m'investir davantage dans la direction d'étudiants. Néanmoins, plus qu'un exercice académique, l'HDR est aussi pour moi un exercice introspectif intervenant à un moment de ma carrière marqué par la multiplication des projets et des terrains (permise par un positionnement actuel au sein d'un centre des CGIAR). Il me paraissait alors important de faire le point sur l'évolution de mon cursus et leur positionnement au sein de l'agronomie.

Ce document est structuré en trois parties.

La première partie présente mon curriculum vitae, la liste détaillée des publications et co-encadrements d'étudiants, la liste de projets de recherche obtenus.

La seconde partie comprend une description synthétique de mon cursus. J'y décris également ma problématique durant ces 14 dernières années, ma démarche méthodologique et les principaux résultats obtenus dans le cadre de mes travaux au CIRDES puis au CIAT (correspondant à deux moments clés de mes travaux) puis je discute de leur originalité et de leurs faiblesses. La leçon principale tirée de mes travaux est l'importance du partenariat multi-acteur impliquant aux côtés des agriculteurs des acteurs publics et privés jouant un rôle dans la diffusion d'informations techniques agricoles ou dans l'accès aux ressources productives.

La troisième partie présente mon projet scientifique pour les années à venir. Il vise à dépasser les frontières du secteur agricole pour inclure une plus grande diversité d'acteurs dans la perspective de construire des systèmes de production permettant de faire face aux défis posés par le changement climatique.

I. CV, publications , encadrements d'étudiants et projets

1. Curriculum vitae



1. Nadine ANDRIEU

Nationalité :	Française			
Situation familiale :	Mariée(e), 2 enfant(s)			
Adresse professionnelle :	Cirad Es Km 17 Recta Cali-Palmira Valle Del Cauca Cali Colombie Téléphone : +57 2 445 00 00 Fax : +33 4 67 61 44 15 Adresse électronique : nadine.andrieu@cirad.fr			
Profession :	Docteur en Agronomie : Analyse et modélisation du fonctionnement de l'exploitation pour l'aide à la conception de systèmes innovants			
Fonction :	Cadre scientifique			
	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement			
	Environnements et sociétés			
Unité :	UMR Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation			
Caractérisation :	Spécialités : Agronomie Thématiques : Co-conception de systèmes innovants Changement climatique			
Autres expertises :	Aide à la décision, modélisation Innovation (dans les systèmes de production, de transformation et de commercialisation)			
Expertise pays :	Burkina Faso, Brésil, Colombie			
Compétences linguistiques :	Niveaux 1 (notions de base) à 5 (excellent)	Lecture	Oral	Ecrit
	Français	5	5	5
	Créole	5	5	5
	Espagnol	5	3	4
	Anglais	5	3	4
	Portugais	5	3	2
Formation :	Institut National Agronomique Paris Grignon 2004 Docteur de l'Institut National Agronomique Paris Grignon (Doctorat / PhD)			
Expérience Professionnelle :	Depuis 9/2012 : CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier Colombie Chercheure au sein du département Environnements et sociétés et de l'UMR Innovation			

Analyse et modélisation des pratiques productives des agriculteurs pour l'aide à la conception d'exploitations intelligentes face au climat.

06/2006 -12/2012 : CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier Burkina Faso

Chercheure au sein du département Environnements et sociétés et de l'UMR Innovation

Analyse et modélisation des pratiques productives des agriculteurs en zone cotonnière du Burkina Faso afin de favoriser l'innovation technique et organisationnelle

12/2004 - 06/2006 : CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier Brésil

Chercheure au sein du département Territoires, Environnement et Acteurs et de l'Unité Innovations et exploitations agricoles

post-doctorat de 18 mois

Modélisation des flux de biomasse et diagnostic de la durabilité dans les systèmes de production du Nordeste brésilien

11/2001 - 10/2004 : CEMAGREF (L'institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement), Clermont-Ferrand France

Doctorante

Etude à l'aide d'un modèle spatio-temporel de la relation entre l'utilisation du territoire de l'exploitation, sa diversité et la sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques

2. Publications et co-encadrements d'étudiants

A. Publications soumises

- Acosta-Alba, I., Boissy J., Chia E., **Andrieu N.** Integrating diversity of smallholder coffee cropping systems in Environmental Analysis. The International Journal of Life Cycle Assessment
- **Andrieu N.**, Howland F., Acosta Alba I., Le Coq J-F. Osorio A.M., Martinez-Baron D., Gamba Trimiño C., Loboguerrero A.M., Chia E. Co-designing climate-smart farming systems with local stakeholders: A methodological framework for achieving large-scale change. Front. Sustain. Food Syst. - Climate-Smart Food Systems
- Howland F., Del Rio Duque M.L., Twyman J., **Andrieu N.** Levers of change: The importance of farmers' perceptions and local actors for climate change adaptation in southwestern Colombia, Climate Development
- Osorio-García A.M., Paz L. , Howland F. , Ortega, L.A., Acosta-Alba I., Arenas L., Chirinda N., Martinez-Baron D., Bonilla Findji O., Loboguerrero A.M., Chia E., **Andrieu N.** Can an innovation platform support a local process of Climate-Smart Agriculture implementation? A case study in Cauca, Colombia. Agroecology and sustainable development
- Karambiri S.M., Andrieu N., Chia E., Laurens L. Règles endogènes d'accès aux ressources naturelles : le cas du karité et du néré dans la commune de Koumbia au Burkina Faso. Vertigo.

B. Articles publiés dans les revues à facteur d'impact (en grisés ceux ayant un FI >1)

1. **Andrieu N.**, Blundo-Canto G., Cruz-Garcia G.S. 2019. Trade-offs between food security and forest exploitation by mestizo households in Ucayali, Peruvian Amazon. Agricultural systems. In press. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.007>
2. Acosta-Alba, I., Chia, E., **Andrieu, N.** (2019). The LCA4CSA framework: Using life cycle assessment to strengthen environmental sustainability analysis of climate smart agriculture options at farm and crop system levels. Agric. Syst., in press. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.001>
3. Torquebiau E., Rosenzweig C., Chatrchyan A. M., **Andrieu N.**, Khosla R. 2018. Identifying Climate-smart agriculture research needs. Torquebiau. 2018. *Cahiers Agricultures*, 27 (2), e26001 (7 p.) <https://doi.org/10.1051/cagri/2018010>
4. Rasse C., **Andrieu N.**, Diman J.-L., Fanchone A., Chia E. 2018. Utilisation de pratiques agroécologiques et performances de la petite agriculture familiale : le cas de la Guadeloupe. *Cahiers Agricultures*, 27 (5) 55002, 10 p. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018032>
5. **Andrieu N.**, Sogoba B., Zougmore R.B., Howland F., Samake O., Bonilla-Findji O., Lizarazo M., Nowak A., Dembele C., Corner-Dolloff C. 2017. Prioritizing investments for climate-smart

- agriculture: Lessons learned from Mali. *Agricultural Systems*, **154** : p. 13-24.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2017.02.008>
6. Sain G., Loboguero A.M., Corner-Dolloff C., Lizarazo M., Nowak A., Martínez-Barón D., **Andrieu N.** 2017. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems*, **151**: p. 163-173.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.004>
 7. Dabire D., **Andrieu N.**, Djamen P., Coulibaly K., Posthumus H., Diallo A., Karambiri M., Douzet J.M., Triomphe B. 2017. Operationalizing an innovation platform approach for community-based participatory research on conservation agriculture in Burkina Faso. *Experimental Agriculture* : 20 p. <http://dx.doi.org/10.1017/S0014479716000636>
 8. Diariso T., Corbeels M., **Andrieu N.**, Djamen P., Douzet J.M., Tiftonell P. 2016. Soil variability and crop yield gaps in two village landscapes of Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **105** (3) : p. 199-216. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-015-9705-6>
 9. Vall E., Chia E., Blanchard M., Koutou M., Coulibaly K., **Andrieu N.** 2016. La co-conception en partenariat de systèmes agricoles innovants = Participatory design of innovative farming systems. *Cahiers Agricultures*, **25** (1) : e15001 (7 p.). <http://dx.doi.org/10.1051/cagri/2016001>
 10. Sempore A.W., **Andrieu N.**, Le Gal P.Y., Nacro H.B., Sedogo M.P. 2016. Supporting better crop-livestock integration on small-scale West African farms: A simulation-based approach. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **40** (1): p. 3-23.
<http://dx.doi.org/10.1080/21683565.2015.1089966>
 11. Sempore A.W., **Andrieu N.**, Nacro H.B., Sedogo M.P., Le Gal P.Y. 2015. Relevancy and role of whole-farm models in supporting smallholder farmers in planning their agricultural season. *Environmental Modelling and Software*, **68**: p. 147-155.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.02.015>
 12. **Andrieu N.**, Descheemaeker K., Sanou T., Chia E. 2015. Effects of technical interventions on flexibility of farming systems in Burkina Faso: Lessons for the design of innovations in West Africa. *Agricultural Systems*, **136**: p. 125-137.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2015.02.010>
 13. Djamen Nana P., **Andrieu N.**, Zerbo I., Ouedraogo Y., Le Gal P.Y. 2015. Agriculture de conservation et performances des exploitations agricoles en Afrique de l'Ouest = Conservation agriculture and performance of farms in West Africa. *Cahiers Agricultures*, **24** (2) : p. 113-122.
<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2015.0743>

14. Diarisso T., Corbeels M., **Andrieu N.**, Djamen Nana P., Tittonnell P. 2015. Biomass transfers and nutrient budgets of the agro-pastoral systems in a village territory in south-western Burkina Faso. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **101** (3): p. 295-315. <http://dx.doi.org/10.1007/s10705-015-9679-4>
15. **Andrieu N.**, Vayssières J., Corbeels M., Blanchard M., Vall E., Tittonnell P. 2015. From farm scale synergies to village scale trade-offs: Cereal crop residues use in an agro-pastoral system of the Sudanian zone of Burkina Faso. *Agricultural Systems*, **134**: p. 84-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2014.08.012>
16. Corbeels M., De Graaff J., Ndah H.T., Penot E., Baudron F., Naudin K., **Andrieu N.**, Chirat G., Schuler J., Nyagumbo I., Rusinamhodzi L., Traore K., Mzoba H.D., Adolwa I.S. 2014. Understanding the impact and adoption of conservation agriculture in Africa: A multi-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **187**: p. 155-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.011>
17. Tittonnell P., Scopel E., **Andrieu N.**, Posthumus H., Mapfumo P., Corbeels M., Van Halsema G., Lahmar R., Lugandu S., Rakotoarisoa J., Mtambanengwe F., Pound B., Chikowo R., Naudin K., Triomphe B., Mkomwa S. 2012. Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO): Targeting innovations to combat soil degradation and food insecurity in semi-arid Africa. *Field Crops Research*, **132**: p. 168-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.011>
18. Le Gal P.Y., **Andrieu N.**, Dugué P., Kuper M., Taher Srairi M. 2011. Des outils de simulation pour accompagner des agroéleveurs dans leurs réflexions stratégiques = Simulation tools for supporting crop-livestock farmers in their strategic decisionmaking. *Cahiers Agricultures*, **20** (5) : p. 413-420. <http://dx.doi.org/10.1684/agr.2011.0509>
19. Vall E., **Andrieu N.**, Béavogui F., Sogodogo D. 2011. Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest : le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf) = Contribution of fonio (*Digitaria exilis* Stapf) to seasonal food security. *Cahiers Agricultures*, **20** (4) : p. 294-300. <http://dx.doi.org/10.1684/agr.2011.0499>
20. **Andrieu N.**, Nogueira D.M. 2010. Modeling biomass flows at the farm level: A discussion support tool for farmers. *Agronomy for Sustainable Development*, **30** (2): p. 505-513. <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009047>
21. **Andrieu N.**, Josien E., Duru M. 2007. Relationships between diversity of grassland vegetation, field characteristics and land use management practices assessed at the farm level. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **120** (2-4): p. 359-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2006.10.022>

22. **Andrieu N.**, Bonhomme M., Duru M., Poix C. 2007. FDMS, farmland diversity and forage production unit management simulator. *Computers and Electronics in Agriculture*, **59**: p. 86-89. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.04.004>
23. **Andrieu N.**, Poix C., Josien E., Duru M. 2007. Simulation of forage management strategies considering farm-level land diversity: Example of dairy farms in the Auvergne. *Computers and Electronics in Agriculture*, **55** (1): p. 36-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2006.11.004>

C. Articles publiés dans les revues à comité de lecture, sans facteur d'impact

24. Vall E., Blanchard M., Koutou M., Coulibaly K., Adiallo M., Chia E., Traoré L., Tani F., **Andrieu N.**, Ouattara B., Dugué P., Autray P. 2013. Recherche-action en partenariat et innovations face aux changements globaux en Afrique subsaharienne = Action-research, partnership and innovations facing global changes. *Agronomie Africaine* (6) (spec.) : p. 57-66.
25. **Andrieu N.**, Dugué P., Le Gal P.Y., Rueff M., Schaller N., Sempore A.W. 2012. Validating a whole farm modelling with stakeholders: Evidence from a West African case. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*, **4** (9): p. 159-173. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v4n9p159>
26. **Andrieu N.**, Chia E., Vall E. 2011. Recherche et innovations dans les exploitations de polyculture-élevage d'Afrique de l'Ouest Quelles méthodes pour évaluer les produits de la recherche ? [Introduction générale du numéro thématique]. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **64** (1-4) : p. 7-8. http://remvt.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=569600
27. Pedelahore P., Tchatchoua R., Tonka M., Ntsama M., **Andrieu N.** 2011. Resituer l'adoption des propositions techniques de la recherche dans les stratégies d'adaptation des exploitants agricoles familiaux = Restituir la adopción de propuestas técnicas de la investigación dentro de las estrategias de adaptación de los productores agrícolas familiares = Place of the adoption of technical proposals from research in farmers' adaptation strategies. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **64** (1-4) : p. 33-41. http://remvt.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=569626
28. Sempore A.W., **Andrieu N.**, Bayala I. 2011. Coconception d'innovations agropastorales assistée par un modèle à l'échelle de l'exploitation. Cas de l'embouche bovine = Codesign of agropastoral innovations through a model at farm scale. Case of cattle fattening = Co-concepción de innovaciones agro pastoriles asistida por un modelo a escala de explotación agrícola. Caso del engorde bovino. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **64** (1-4) : p.

51-60.

http://remvt.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=569629

29. **Andrieu N.**, Chia E., Vall E., Ould Ferroukh H.H.M. 2011. Recherche et innovations dans les exploitations de polyculture-élevage d'Afrique de l'Ouest Quelles méthodes pour évaluer les produits de la recherche ? : Conclusion générale du numéro thématique. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **64** (1-4) : p. 93-95.
http://remvt.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=569635
30. Dabire W.P.I., Barbier B., **Andrieu N.** 2011. Evaluation *ex ante* de la prévision saisonnière climatique en petit paysannat burkinabé = Evaluación *ex ante* de la previsión estacional climática en un pequeño campesinado burkiné = *Ex ante* assessment of climatic seasonal predictions for small-scale farming in Burkina Faso. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **64** (1-4) : p. 43-50. http://remvt.cirad.fr/revue/notice_fr.php?dk=569627
31. **Andrieu N.**, Tonneau J.P. 2007. Gestion agroécologique de la caatinga pour les agriculteurs familiaux du Sertao : une alternative à sa désertification ? = Agro-ecological management in the caatinga for peasant farmers in the Sertao: an alternative to desertification? = Manejo agroecologico de la caatinga para los agricultores familiares del Sertao: una alternativa a la desertificacion ?. *Bois et Forêts des Tropiques* (293) : p. 9-21.
32. **Andrieu N.**, Piraux M., Tonneau J.P. 2007. Design of sustainability indicators of the production systems in Brazilian semi-arid area by the analysis of biomass flows. *International Journal of Sustainable Development*, **10** (1-2): p. 106-121. <http://dx.doi.org/10.1504/IJSD.2007.014417>

D. Chapitres d'ouvrage

33. Vall E., Blanchard M., Coulibaly K., Ouédraogo S., Dabire D., Douzet J.-M., Kouakou P. K., **Andrieu N.**, Havard M., Chia E., Bougouma Yameogo V., Koutou M., Karambiri M., Delma J. B., Sib O. 2018. Co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage innovants en zone cotonnière au Burkina Faso. In : La transition agro-écologique des agricultures du Sud. Côte F.-X. (ed.), Poirier-Magona E. (ed.), Perret S. (ed.), Roudier P. (ed.), Bruno R. (ed.), Thirion M.-C. (ed.). Versailles : Ed Quae, 15-42. (Agricultures et défis du monde) ISBN 978-2-7592-2824-9.
<https://www.quae.com/produit/1546/9782759228232/la-transition-agro-ecologique-des-agricultures-du-sud>
34. **Andrieu N.**, Barbier J.-M., Delmotte S., Dugué P., Hossard L., Le Gal P.-Y., Michel I., Stark F. S., De Tourdonnet S. 2018. Co-designing technical and organizational changes in agricultural

systems. In : Innovation and development in agricultural and food systems. Faure Guy (ed.), Chiffolleau Yuna (ed.), Goulet F. (ed.), Temple L. (ed.), Touzard J.-M. (ed.). Versailles : Ed. Quae, 134-143. (Synthèses : Quae) ISBN 978-2-7592-2960-4.

<https://www.quae.com/produit/1540/9782759229604/innovation-and-development-in-agricultural-and-food-systems>

35. Penot E., **Andrieu N.**, Cialdella N., Pédelahore P. 2018. Simulation tools to understand, evaluate and strengthen innovations on farms. In: Innovation and development in agricultural and food systems. Faure G. (ed.), Chiffolleau Y. (ed.), Goulet F. (ed.), Temple L. (ed.), Touzard J.-M. (ed.). Versailles : Ed. Quae, 210-227. (Synthèses : Quae) ISBN 978-2-7592-2960-4.

<https://www.quae.com/produit/1540/9782759229604/innovation-and-development-in-agricultural-and-food-systems>

36. **Andrieu N.**, Pedelahore P., Howland F., Descheemaeker K., Vall E., Bonilla-Findji O., Corner-Doloff C., Loboguerrero A. M., Chia E. 2016. Climate-smart farms? Case studies in Burkina Faso and Colombia. In : Climate change and agriculture worldwide. Torquebiau E. (ed.), Manley D. (trad.), Cowan P. (trad.). Heibelberg: Springer, 45-58. ISBN 978-94-017-7460-4.

http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-7462-8_11

37. Djamé Nana P., Dugué P., Mkomwa S., Benoît da Sansan J., Essecofy G., Bougoum H., Zerbo I., Ganou S., **Andrieu N.**, Douzet J.-M. 2014. Conservation agriculture in West and Central Africa. In : Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges. R. A. Jat; K. L. Sahrawat ; A. H. Kassam. Wallingford: CABI, 311-338. ISBN 978-1-78064-259-8.

<http://dx.doi.org/10.1079/9781780642598.0311>

38. **Andrieu N.**, Coléno F., Duru M. 2008. L'organisation du système fourrager source de flexibilité face aux variations climatiques. In : L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Dedieu B.(ed.), Chia E. (ed.), Leclerc B. (ed.), Moulin C.-H. (ed.), Tichit M. (ed.). Versailles : Ed. Quae, 95-110. (Update sciences et technologies) ISBN 978-2-7592-0077-1

39. Dobremez L., Josien E., Camacho O., **Andrieu N.** 2008. La sécurisation des systèmes fourragers et la réponse aux enjeux agri-environnementaux en montagne. In : L'élevage en mouvement :

flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Dedieu Benoît (ed.), Chia Eduardo (ed.), Leclerc Bernadette (ed.), Moulin Charles-Henri (ed.), Tichit Muriel (ed.). Versailles : Ed. Quae, 241-258. (Update sciences et technologies) ISBN 978-2-7592-0077-1

E. Principaux produits opérationnels

40. **Andrieu N.**, Howland F., Acosta-Alba I., Osorio A-M, Le Coq J.-F., Chia E. 2018. Methodological Guide to Co-design Climate-smart Options with Family Farmers. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://ccafs.cgiar.org/blog/innovation-platform-small-farmers-facing-climate-change#.W5GXF5KjIU><http://hdl.handle.net/10568/91678>
41. Müller C., Salgado R., Duron M., Le Coq J.-F., De Varax M., Gamba-Triminiño C., Howland F., Chia E., Gallardo O., **Andrieu N.** Innovation platforms for climate smart agriculture in Honduras. 2018. s.l. : CGIAR, 8 p. <http://hdl.handle.net/10568/91678>
42. Sogoba B., **Andrieu N.**, Howland F., Samake O., Corner-Dolloff C., Bonilla-Findji O., Zougmore R.B. 2017. Findings from implementing the Climate-Smart Agriculture Prioritization Framework in Mali. Rome : FAO, 9 p.<http://www.fao.org/3/a-bt412e.pdf>
43. Coulibally K., Sanon P., Sanogo L., Dabire D., Havard M., **Andrieu N.** 2015. Utilisation du semoir de semis direct à traction animale FITARELLI sur maïs. Fiche technique n°46. ABACO.

F. Encadrements de masters

2018 (6mois) - Poulayer Celia- Exemple d'un modèle de simulation numérique pour évaluer les performances de divers systèmes issus la petite agriculture familiale de Guadeloupe dans le cadre d'une démarche de Co-conception. ISTOM, France.

2018 (6 mois) - Salomé Ott - Système d'acteurs et rôles dans la transition agroécologique de la Petite Agriculture Familiale : Cas du Nord-Grande-Terre en Guadeloupe. Montpellier SupAgro, France.

2017 (6 mois) - Camille Rasse - La Petite Agriculture Familiale Agroécologique de Guadeloupe : tensions et synergies entre productivité et Services Ecosystémiques. Montpellier SupAgro, France.

- Un article publié dans Cahiers Agriculture

2016 (6 mois) – Catherine Gamba Trimiño- Stratégies d'agriculture familiale pour faire face aux changements climatiques en zone aride au Honduras : analyse, impacts agroécologiques et capital social. INP-ENSAT, France

2016 (12 mois) – Ana Milena Osorio - Plateforme d'innovation pour améliorer l'adaptation locale au changement climatique : suivi évaluation d'une dynamique locale. M2 IAMZ, CIHEAM – Espagne

- Un article soumis a AgroEcology and Sustainable Food Systems

2013 (6 mois) – Mélanie Rivat - Analyse ex-ante de l'effet d'innovations techniques sur la productivité et la durabilité des exploitations de polyculture-élevage au Burkina Faso grâce à la modélisation: cas de l'introduction des cultures fourragères. Ecole Supérieure d'Agro-Développement International ISTOM, France.

2012 (10 mois) - Ouedraogo Yacouba - Analyse « ex-ante » des effets de l'agriculture de conservation sur le fonctionnement et les performances technico-économiques des exploitations agricoles à l'aide de la modélisation : cas de Koumbia. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso - Burkina Faso

- Un article publié dans Cahiers Agriculture

2011 (6 mois) - Mouiche Mouliom Mohamed Mactar - Analyse de l'impact des changements climatiques sur les systèmes d'élevage d'Afrique de l'Ouest : Cas du Burkina Faso SupAgroMontpellier - France

2010 (6 mois) - Zongo Bétéo - Intérêt de la programmation linéaire pour l'analyse des pratiques des producteurs et la conception des innovations : cas des villages de Koumbia et Kourouma à l'Ouest du Burkina Faso. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso - Burkina Faso

2010 (6 mois) - Sempore Aristide - Validation d'un modèle de simulation du fonctionnement de l'exploitation coton-céréales-élevage dans l'Ouest du Burkina Faso. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso - Burkina Faso

- Deux articles publiés dans des revues à comité de lecture sans facteur d'impact

2010 (6 mois) - Tou Zoumana - Gestion des systèmes de culture et d'élevage et flexibilité des exploitations agricoles aux variabilités climatiques et économiques en zone cotonnière ouest du Burkina Faso: Cas de Koumbia et de Kourouma. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso - Burkina Faso

2008 (6 mois) - Schaller Noémie - Analyse et modélisation des relations agriculture-élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso AgroParisTech – France

- Un article publié dans une revue à comité de lecture sans facteur d'impact

G. Co-Encadrement de doctorats

2018 – Medina Karambiri- La gouvernance territoriale par les chartes foncières locales dans la région des Hauts Bassins/Burkina Faso

- Un article soumis à Vertigo

2015 - Tidiane Diarisso - Analyse des flux de biomasse et des transferts de fertilité à l'échelle du territoire villageois en Afrique sub-sahélienne : opportunités d'intégration fonctionnelle agriculture-élevage- Montpellier SupAgro

- Deux articles parus dans Nutrient Cycling in AgroEcosystems

2015 - Aristide Sempore - Rôle de la modélisation dans l'aide à la conception de systèmes de production innovants dédiés aux exploitations de polyculture-élevage en Afrique de l'Ouest. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso - Burkina Faso

- Un article paru dans Environmental Modelling and Software
- Un article paru dans AgroEcology and Sustainable Food Systems

H. Co-Encadrement de post-doctorat

2016 à 2018 : Ivonne Acosta Alba

- Un article paru dans Agricultural Systems
- Un article soumis à Journal of Life cycle assessment

3. Obtention de contrats de recherche

<i>Période</i>	Fonction et nom du contrat	Bailleur
2019-2021	Coordination de Work Package du projet « Typologie et évaluation des instruments politiques d'adaptation de l'agriculture au changement climatique – TYPOCLIM »	MUSE
2018-2020	Coordination de Work Package du projet « Articuler les combinaisons de politiques entre échelles et secteurs pour faire face aux enjeux d'adaptation au changement climatique dans les territoires vulnérables d'agriculture tropicale – ARTIMIX »	ANR
2016-2020	Coordination de Work Package du Projet “Monitoring of climate-smart villages”	CCAFS
2018-2019	Coordination du projet « CO-conception de Modes de PROduction et Modelisation des Impacts Services écosystémiques – COMPROMIS »	EcoServ
2016-2018	Coordination du projet “Decision support tools for strengthening family farmers’ capacity to design climate smart options in Colombia”	Agropolis- International Outbound Mobility 2A: Post-doc
2015-2017	Coordination du projet “Innovation platform for improving farmers’ adoption of Climate Smart Agriculture technologies: piloting in Honduras and Colombia”	Fontagro
2011-2015	Coordination des activités conduites en Afrique de l’Ouest dans le cadre du projet “Agroecology Based aggradation conservation agriculture”, funded by EU, coordinated by African Conservation Tillage, 2011-2014	EU-Europaid
2008-2010	Coordination du projet “Role of modelling for sustainable management of farming systems in West Africa”	French ministry of Foreign affairs

II. Elaboration d'une démarche de co-conception de systèmes de production innovants

1. Synthèse Cours

La figure 1 résume ma carrière scientifique et en particulier met en évidence les questions de recherche traitées, les acteurs impliqués ainsi que les principaux outils méthodologiques mobilisés. Ma carrière scientifique a débuté en novembre 2001 dans le cadre d'une thèse en agronomie réalisée au Cemagref de Clermont-Ferrand. Elle visait à étudier, à travers des enquêtes de terrain et l'usage de la modélisation, si en zone de montagne en Auvergne, les modes de gestion par l'éleveur de la diversité du territoire de son exploitation constituaient une stratégie potentielle pour faire face aux aléas climatiques.

Mes travaux se sont poursuivis au CIRAD à partir de décembre 2004 dans le cadre d'un post-doctorat effectué au sein de l'unité du CIRAD Innovations et Dynamiques des exploitations agricoles et intitulé : « Modélisation des flux de biomasse et diagnostic de la durabilité dans les systèmes de production du Nordeste brésilien ».

En juin 2006 j'ai été recrutée en tant que chercheuse au CIRAD dans l'UMR Innovation sur un profil d'Agronome « gestion des systèmes de production pour un développement durable » avec en vue une expatriation en Afrique de l'Ouest.

J'ai alors été affectée d'avril 2007 à décembre 2012 au CIRDES¹ à Bobo-Dioulasso.

Depuis septembre 2013, je suis en poste au CIAT² dans le but de produire des connaissances sur l'aide à la conception de systèmes de production faisant face aux défis posés par le changement climatique.

Mes travaux de recherche portent sur la co-conception de systèmes de production innovants, avec principalement les agriculteurs, pour les aider à faire face à la variabilité de leur environnement de production. Ces travaux articulent (i) diagnostic sur le fonctionnement et les performances des exploitations, (ii) usage d'outils de simulation pour explorer des scénarios innovants, (iii) expérimentation en milieu paysan d'un nombre plus restreint de scénarios, et (iv) évaluation de l'effet de la démarche sur les connaissances et pratiques des agriculteurs. Au cœur de ma démarche de co-conception je mobilise des dispositifs favorisant la recherche en partenariat afin de permettre à la recherche et aux acteurs de terrain (producteurs, techniciens, ONG) de définir de façon participative les scénarios à expérimenter. Ces travaux m'ont permis d'explorer différentes facettes du métier de chercheur par la production de connaissances scientifiques reposant sur 23 articles publiés dans des revues indexées et des publications opérationnelles (fiches techniques, note politique, manuel à destination d'acteurs intéressés

¹ Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Subhumide

² Centre international sur l'agriculture en milieu tropical des CGIAR

pour co-concevoir des systèmes de production innovants)³. J'ai également participé à la coordination de projets de recherche. J'ai en effet coordonné un projet Corus visant à évaluer l'intérêt de la modélisation pour la co-conception avec les producteurs et techniciens de systèmes mixtes coton-céréales-élevage. J'ai aussi assuré la coordination régionale d'un projet Europaid visant à analyser avec les acteurs locaux la faisabilité de l'agriculture de conservation en Afrique sub-saharienne. J'ai ensuite coordonné un projet Fontagro visant à co-concevoir des systèmes de production climato-intelligents. Je coordonne un groupe d'activités dans le cadre d'un projet ANR visant à analyser les conditions de succès pour la conception et la mise en œuvre de politiques pour l'adaptation au changement climatique et la transition agroécologique dans des territoires agricoles tropicaux vulnérables. J'ai aussi co-encadré : douze étudiants niveau master/DEA, six stages niveau ingénieur, trois thèses, un post-doctorat. J'ai enfin participé à la construction de réseaux de recherche à travers à la fois des projets menés en partenariat avec les acteurs de terrain mais aussi la participation au montage et à la coordination du dispositif de recherche et d'enseignement ASAP. Ce dispositif réunit plusieurs institutions de recherche et d'enseignement supérieur du Burkina Faso et du Mali (Andrieu, 2009, Vall *et al.*, 2012). D'autre part ces travaux m'ont permis de tisser des partenariats scientifiques avec des collègues issus des sciences agronomiques à l'échelle de la parcelle (pour comprendre les processus biophysiques à l'œuvre) et des sciences sociales (pour analyser les dynamiques collectives par exemple).

³ Mes publications sont essentiellement citées dans les sections résultats et discussion et apparaissent entre crochets pour les distinguer des autres publications qui apparaissent entre parenthèses.

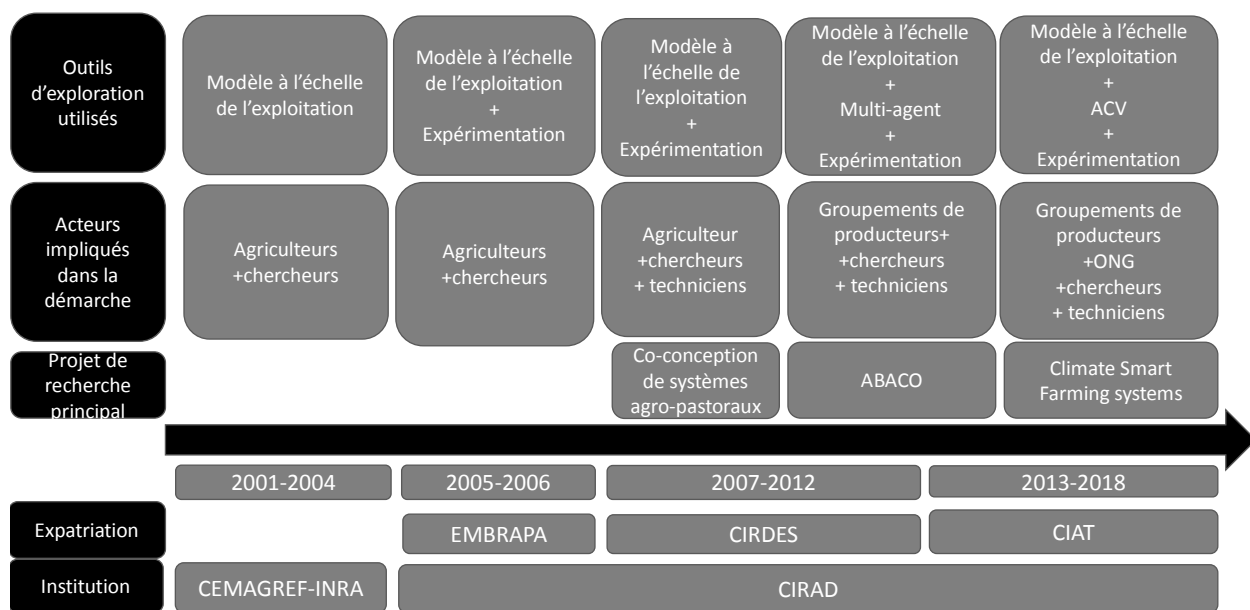


Figure 1: Etapes de mon cursus, projets, acteurs et outils principaux mobilisés pour la co-conception de systèmes de production

2. Introduction : La co-conception de systèmes de production innovants

2.1. La conception de systèmes de production innovants pour faire face aux défis posés à l'agriculture contemporaine

Face à une remise en cause croissante du modèle productiviste agricole dominant depuis la fin de la seconde guerre mondiale dans les sociétés occidentales et promu lors de la révolution verte dans de nombreux pays du Sud, l'agriculture contemporaine doit répondre à de nouveaux défis (Salembier *et al.*, 2018 ; Duru *et al.*, 2015a). Elle doit prendre en compte des attentes sociétales comme la réduction des pollutions associées à l'usage des fertilisants et des pesticides, la réduction de la consommation en énergie, l'objectif de protection de la biodiversité, et d'accès à une alimentation saine (Brooks, 2014 ; Schaible, et Aillery, 2017). Elle doit en outre renforcer la résilience des systèmes de production dans un contexte où 32 à 39% de la variabilité du rendement des cultures est due au climat (Ray *et al.* 2015). Elle doit enfin réduire ses émissions de gaz à effet de serre puisque l'agriculture et l'élevage contribuent à entre 19 et 29% des émissions de gaz à effet de serre mondiales (Vermeulen *et al.* 2012).

Ces enjeux placent en première ligne l'agronomie, et en particulier l'agronomie qui vise à concevoir des systèmes agricoles innovants (Le Gal, 2009 ; Meynard *et al.*, 2012). Ces travaux s'inscrivent dans une évolution plus globale des démarches de conception mobilisées par les agronomes où un rôle croissant a été donné aux connaissances et à la participation des agriculteurs dans la conception (Salembier *et al.*, 2018, Therond *et al.*, 2017). Ces travaux portent sur la mise au point de méthodes de conception et d'évaluation des systèmes agricoles à plusieurs échelles : parcelle, troupeau, exploitation agricole et territoire. Sur cette base, les agronomes analysent les effets à court et long termes des innovations (variétés, pesticides, modes de culture ou d'élevage, biotechnologies), en prenant en compte les modifications qu'elles sont susceptibles d'induire sur les systèmes de culture, de production, les territoires et les filières. Les connaissances générées sont mobilisées pour concevoir de nouveaux systèmes de culture et d'élevage en combinant savoirs scientifiques et savoirs des acteurs directement intéressés par les résultats de recherche.

Les démarches de conception mobilisées par les agronomes sont de nature diverse. Hatchuel *et al.* (2006) opèrent une distinction entre la conception réglée et la conception innovante. Dans la première démarche les connaissances et expertises sont disponibles en début de processus, et les objectifs de la conception et les processus de validation (prototypes, essais, tests, division

du travail) sont bien définis à l'avance. La conception innovante vise elle à satisfaire des attentes nouvelles non parfaitement définies au départ, où les objectifs sont multiples et à construire chemin faisant à travers un débat citoyen ou une concertation entre acteurs. Sur cette base, Meynard *et al.* (2012) distinguent conception « *de novo* » et conception « pas à pas ». La première privilégie l'invention de systèmes en rupture avec l'existant et la production de scénarios. Ces scénarios permettent d'explorer une large gamme de futurs possibles mettant en jeu des changements profonds. La seconde cherche à organiser le changement ou les évolutions en s'appuyant sur des évaluations et boucles d'apprentissages itératives. Dans cette approche « pas à pas », le producteur met progressivement au point son nouveau système (processus incrémental), tout en apprenant à le piloter, se convainc de son intérêt, et réorganise son travail et ses moyens de production en conséquence. Le Gal *et al.* (2011) ont également proposé une typologie des approches de conception. Ils mettent en évidence des approches « design-oriented » où la participation des acteurs est limitée, et des démarches « design-support » où l'enjeu est d'accompagner les acteurs dans un processus de changements techniques et/ou organisationnels. Le premier courant inclue des démarches de prototypage et de modélisation. Le second type inclue des démarches participatives visant à renforcer les capacités des acteurs, des démarches articulant participation des acteurs et modélisation pour comparer différentes alternatives techniques, et enfin des démarches visant à conseiller les producteurs.

2.2. La spécificité des démarches de conception de systèmes de production agroécologiques

Des auteurs se sont spécifiquement intéressés aux caractéristiques des démarches de co-conception de systèmes agroécologiques proposés comme une alternative aux systèmes conventionnels. Dans ces systèmes agroécologiques, l'agriculteur met en œuvre des pratiques favorisant la diversité biologique à différentes échelles d'espace et de temps pour réduire l'usage des intrants tout en répondant aux besoins des populations (Altieri, 1999, 2002). Les démarches de co-conception de tels systèmes agroécologiques se caractérisent par l'observation et le mimétisme des écosystèmes naturelles (Malézieux, 2012). Elles se caractérisent également par la gestion des connaissances sur le fonctionnement des écosystèmes, des interactions entre les parties prenantes du processus de recherche-action afin de mieux combiner/hybrider des savoirs multiples et l'exploration de nouvelles connaissances, technologies et produits (Berthet *et al.*, 2015). Compte tenu du changement de paradigme nécessaire pour concevoir des systèmes agroécologiques, les innovations explorées sont radicales (basés sur une quantité importante de connaissances nouvelles) en opposition à des innovations incrémentales qui nécessitent peu de

connaissances nouvelles (Ash *et al.*, 2007 ; Berthet *et al.*, 2015). Des outils d'exploration correspondant aussi bien à des jeux de rôle qu'à des outils de modélisation à différents niveaux d'échelle sont alors utiles (Barnaud *et al.*, 2013 ; Martin *et al.*, 2011). Les interactions entre les parties prenantes et l'hybridation des savoirs ont lieu au sein de dispositifs non formalisés où des acteurs d'horizons divers définissent les scénarios innovants à tester pour faire face à une problématique commune. Les démarches de co-conception de systèmes agroécologiques se caractérisent également par la diversité des critères d'évaluation utilisés en tenant compte en particulier des interactions qui existent entre le système écologique (cultures, animaux, pâturages) et le système social (usagers des ressources, gestionnaires, institutions mobilisant des technologies et infrastructures) qui dépassent les frontières de l'exploitation (Moraine *et al.*, 2016). Certains de ces travaux mettent l'accent sur les complexes transformations socio-techniques qui sont nécessaires pour une transition du système actuel vers le système agroécologique innovant. Ainsi, Prost *et al.*, 2016 insistent sur les changements organisationnels nécessaires pour renouveler ces démarches et la nécessité de prendre en compte la complexité et l'imprévisibilité inhérentes aux processus écologiques. De Tourdonnet et Brives (2018) se sont eux intéressés à la spécificité des innovations agroécologiques et au rôle des dispositifs de conseil pour renforcer la capacité des acteurs de cette innovation à concevoir par eux-mêmes. Plusieurs auteurs ont aussi mobilisé le cadre conceptuel Efficience-Substitution-Redesign proposé par Hill (1998) pour analyser les différentes étapes de la transition vers des systèmes agroécologiques (Lamine, 2011 ; Wezel *et al.*, 2014). Gliessman (2016) proposent deux étapes supplémentaires à ce cadre ESR qui correspondent à des changements des modes de consommation, de civilisation et de développement. Duru *et al.* (2014) insistent eux sur la nécessité de prendre en compte les réseaux d'acteurs, les institutions et les entreprises en interaction pour une transition vers un modèle de profonde modernisation écologique de l'agriculture à l'échelle territoriale locale. Ces auteurs concluent sur la nécessité de mobiliser des démarches participatives, holistiques et transdisciplinaires pour accompagner un processus d'innovation complexe combinant changements agronomiques, socio-économiques et institutionnels. La complexité de ces changements fait des systèmes agroécologiques co-conçus des systèmes « éminemment situés » c'est-à-dire adaptés à un contexte donné (Duru *et al.*, 2014).

2.3. Objectifs spécifiques mes travaux visant à co-concevoir des systèmes de production innovants

Les travaux que j'ai menés dans différents contextes au Nord (thèse) comme au Sud s'inscrivent dans cette perspective (Tableau 1). Ils visent à co-concevoir avec les acteurs locaux (producteurs, ONG, techniciens des organisations de producteurs ou des services déconcentrés de l'Etat, décideurs politiques, chercheurs) des systèmes agricoles innovants permettant de mieux faire face que les systèmes conventionnels dominants à la variabilité et au changement climatique ou de limiter la pression exercée sur les ressources naturelles par les activités d'agriculture ou d'élevage (eau, nutriments, parcours naturels). Dans ces travaux, l'échelle d'analyse que j'ai privilégiée est l'exploitation agricole qui invite à s'intéresser aux objectifs de l'agriculteur et de sa famille ainsi qu'aux combinaisons de productions et de ressources (Bonneviale *et al.*, 1989, Osty, 1978). Au sein de l'exploitation je me suis en particulier intéressée au système de production qui peut être défini comme la façon dont le producteur alloue ses ressources en vue de produire des biens végétaux et animaux (Le Gal, 2012). L'un des points communs des systèmes innovants co-conçus dans mes travaux est qu'ils reposaient tous, de façon d'abord implicite puis ensuite de façon plus explicite, sur des principes agroécologiques tels que le recyclage de la biomasse, la conservation et la régénération des eaux, des sols et de l'agrobiodiversité pour limiter les pertes de ressources (eau, nutriments), la diversification des espèces, les interactions et les synergies entre les composantes de l'agrobiodiversité (Altieri, 1999, 2002).

Dans le cadre de ma thèse portant sur des systèmes d'élevage extensifs herbagers en Auvergne, l'enjeu était d'analyser avec des producteurs comment le fait de mobiliser la diversité des pâturages permettait de limiter la sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques. Ces systèmes d'élevage extensifs herbagers se caractérisent en effet par une grande diversité spatiotemporelle des végétations au sein d'une même exploitation agricole (Armstrong *et al.*, 1997 ; Landais et Balent, 1995) (du fait de différences d'exposition, d'altitude ou de profondeur de sol).

Dans le cadre du post-doctorat mené dans le Nordeste Brésilien, l'enjeu était d'analyser avec les producteurs les performances de systèmes de production basés sur une meilleure gestion des flux de biomasse entre systèmes de culture et d'élevage pour intensifier durablement les systèmes de production (Tonneau *et al.*, 2002). Dans cette région on assiste à une pression

accrue sur les ressources naturelles et en particulier sur la Caatinga⁴, pour la mise en place de pâturages (Sabourin and Caron, 2003). Les systèmes de production existants étaient des systèmes mixtes peu utilisateurs d'intrants chimiques et devant faire face à une réduction de leur surface productive du fait d'une augmentation de la population.

Dans l'Ouest du Burkina Faso, qui a constitué mon premier poste d'affectation, l'enjeu était de co-concevoir avec les producteurs et les techniciens des systèmes de production basés sur une amélioration des flux de biomasse entre systèmes de culture et d'élevage. Dans les territoires villageois, ces flux de biomasse variés (pâturage des résidus de culture par les animaux d'élevage, transferts de fertilité des zones de parcours vers les zones de culture via les déjections animales) étaient traditionnellement portés par des groupes ethniques différents et constituaient un maillon essentiel de leur durabilité (Dugue *et al.*, 2004, Manlay *et al.*, 2004a et b). Mais l'augmentation démographique s'est traduite ces dernières décennies par une extension des zones de culture au détriment des zones de parcours, une diminution des périodes de jachère, une augmentation des effectifs animaux en quête d'espaces de pâture et des conflits croissants entre agriculteurs et éleveurs mettant en péril la durabilité des ressources naturelles (sol, eau, végétation) utilisés par les activités agro-sylvo-pastorales (Cour, 2001 ; Dugue *et al.*, 2004 ; Vergez, 2011). Dans ce contexte, l'une des pistes proposées par la recherche pour améliorer les flux de biomasse et de nutriments est l'intégration entre systèmes de culture et d'élevage (Dugue *et al.*, 2004). Cette piste promue depuis l'époque coloniale pour améliorer les flux entre ces deux sous-systèmes a été revisitée récemment (en Afrique mais aussi en Europe) pour mieux appréhender son rôle sur le recyclage des nutriments et la fertilité des sols ou pour limiter les risques grâce à la diversification des activités de production (Dugue *et al.*, 2004 ; Havey *et al.*, 2014 ; Herrero *et al.*, 2010 ; Landais et Lhoste, 1990 ; Manlay *et al.*, 2004 ; Moraine *et al.*, 2014 et 2016 ; Sumberg, 1998 ; Vall *et al.*, 2006). Plus récemment encore, l'agriculture de conservation, un des modèles phare de l'agriculture agroécologique, a également été proposée comme alternative pour améliorer la fertilité des sols et in fine augmenter les rendements (Kassam *et al.*, 2009). Elle est basée sur trois principes : le semis-direct, la diversification des cultures et la couverture permanente du sol à l'aide de résidus de culture ou de plantes de couverture. Ce dernier principe est néanmoins le plus difficile à mettre en œuvre dans ce contexte du fait de l'utilisation de la biomasse en saison sèche pour alimenter les troupeaux villageois mais aussi transhumants (Giller *et al.*, 2009).

⁴ Steppe arborée dense où dominant les épineux caducifoliés et qui constitue un écosystème natif de la région semi-aride du Nordeste brésilien

Dans le cadre de mon second poste d'affectation au CIAT, il y a eu une inflexion de mes travaux sur la question de la co-conception de systèmes de production faisant face aux défis posés par le changement climatique (CC). Prendre en compte la question du CC invite à analyser en particulier comment articuler la question du changement climatique avec d'autres enjeux au niveau de l'exploitation (comme par exemple améliorer la sécurité alimentaire ou les revenus des familles) mais aussi l'effet de pratiques innovantes sur les écosystèmes. La question de la temporalité des changements est également importante avec dans plusieurs régions des manifestations déjà très fortes des effets du changement climatique (augmentation constatée de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes ou déplacement des zones de production). Il existe une littérature importante sur les impacts du CC sur les agroécosystèmes ou sur le lien entre les connaissances et la perception des producteurs sur le CC et les stratégies qu'ils mobilisent (Basu *et al.*, 2015 ;Galdies *et al.*, 2016; Lupo *et al.*, 2016). Il existe également une littérature importante sur la valeur ajoutée des nouvelles technologies pour face au CC (nouvelles cultures, nouvelles pratiques) ou sur des outils de décision destinés aux décideurs politiques en vue de prioriser leurs investissements face au CC (Campbell *et al.* 2016). Il existe en revanche bien moins d'études sur la façon de ré-agencer les ressources de l'exploitation pour faire face aux défis posés par le changement climatique .

La question générale ayant guidé mes travaux de recherche peut être formulée de la façon suivante : comment co-construire avec les acteurs de terrain des systèmes de production innovants valorisant au mieux les interactions complexes à l'échelle de l'exploitation et des territoires entre les différentes cultures et/ou les animaux. Plus spécifiquement il s'agissait de répondre aux questions suivantes :

1. Quels démarches et outils pour co-concevoir les nouveaux systèmes de production et accompagner le changement ?
2. Quelles tensions et synergies engendrées par des changements techniques et organisationnels pour des enjeux variés à l'échelle de l'exploitation ?
3. Quelles sont les caractéristiques des systèmes de production innovants co-conçus ?
4. Quels leviers (soutien à l'innovation, ou politiques agricoles) pourraient favoriser l'innovation ou l'adoption de ces changements (question spécifique à mes travaux sur la conception de systèmes de production faisant face aux défis posés par le changement climatique) ?

Je présente dans la section 3 le cadre méthodologique utilisé dans mes travaux ces 14 dernières années où les partenaires sont au centre de la démarche. Je montre ensuite comment ce cadre a été mobilisé pour co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage au Burkina Faso (section 4) puis des systèmes devant faire face aux défis posés par le changement climatique (section 5).

Tableau 1: Synthèse des contextes, enjeux et systèmes co-conçus dans mes travaux

Zone d'étude	Période	Contexte de terrain	Enjeux scientifiques	Systèmes co-conçus
Cantal, Puy de Dôme (France)	2001-2004	Double vulnérabilité des systèmes fourragers face à la variabilité aux aléas climatiques et les contraintes fortes sur les pratiques liées aux cahiers des charges pour la production de fromage	Analyser comment valoriser la diversité des prairies dans la conduite du système fourrager pour mieux faire face à la variabilité climatique	Systèmes fourragers faisant varier les règles de dimensionnement et d'ordonnancement des ateliers de production
Pernambuco, (Brésil)	2005-2006	Défriche croissante de la Caatinga liée à l'augmentation de la population en zone rurale	Analyser comment réduire la pression sur la Caatinga en valorisant les flux entre systèmes de culture et d'élevage	
Tuy, (Burkina Faso)	2007-2012	Pression croissante sur les ressources (eau, savanes, forêts) liée à l'augmentation en zone rurale	Co-concevoir des systèmes de production basés sur des flux entre systèmes de culture et d'élevage	Systèmes intégrés d'agriculture et d'élevage Systèmes basés sur les principes de l'agriculture de conservation
Cauca et Bassin Versant de Puca (Colombie et Honduras)	2013-2018	L'agriculture source d'émission de gaz à effet de serre mais aussi fortement vulnérable au changement climatique	Co-concevoir des systèmes de production articulant enjeux de développement et faisant face aux défis posés par le changement climatique	Systèmes basés sur une plus grande diversification des activités de production et une meilleure valorisation des ressources en eau

3. Une démarche de recherche en partenariat pour la co-conception de systèmes de production innovants

3.1. Démarche globale

Alors que l'« invention » peut se définir comme « la découverte d'un principe », l'« innovation » peut être définie comme « l'adoption de ce principe par une population » (Alter, 1995). L'innovation correspond de ce fait à un processus de changement qui se développe dans un contexte à la fois technique et social (Akrich *et al.*, 1988 ; Flichy, 1995).

Ce processus implique alors un large éventail de parties prenantes (communautaires, privées, et publiques) au sein d'un système d'innovation où sont échangés des connaissances, des règles et normes contribuant à l'élaboration et l'adoption de ces changements (Pali et Swaans, 2013; Spielman *et al.*, 2009).

Reconnaissant le caractère collectif de l'innovation plusieurs auteurs ont démontré l'importance de dispositifs d'échanges collectifs pour favoriser la participation des acteurs à la conception des innovations (Klerkx *et al.*, 2010; Nederlof *et al.*, 2011; Röling, 1994; Thiele and Bernet, 2005; Zarazúa-escobar *et al.*, 2011). Ces dispositifs portent des dénominations variées : clusters, pôles d'excellence, pôle de développement avec une dimension territoriale marquée, plateformes de concertations, réseaux ou plateformes d'innovation avec l'accent mis sur les flux de connaissances et les apprentissages. Au sein de ces dispositifs créés dans le cadre de projets ou préexistants, une diversité d'acteurs se réunissent pour résoudre un problème commun. La recherche peut y être partie prenante ou non. Dans ces espaces, la production de connaissances et de techniques correspond à ce que Hatchuel (2000) décrit comme la recherche intervention. Aggeri et Hatchuel (2003) distinguent en effet une recherche de laboratoire où le chercheur met au point un dispositif d'expérimentation visant à tester et à analyser le comportement d'un objet d'étude confiné, sous l'influence de différents facteurs qu'il contrôle. Le chercheur n'interagit alors pas avec les acteurs de terrain pour ne pas biaiser les conclusions. Ces auteurs distinguent également une recherche de terrain où l'objet d'étude n'est plus confiné, car observé dans son environnement naturel. Le chercheur reste néanmoins maître de son dispositif d'expérimentation et n'interagit pas avec l'objet tandis que les acteurs de terrain ont un rôle passif consistant à fournir des données sur l'objet étudié. Dans le cas de la recherche intervention, l'objet d'étude est défini avec les acteurs de terrain. Elle vise à produire des connaissances sur les processus de changements mis en œuvre et à résoudre les problèmes des acteurs. Les connaissances produites dans ce type de recherche sont des connaissances

actionnables, c'est-à-dire à la fois légitimées par les acteurs et validées scientifiquement. Elles sont ensuite utilisables par les acteurs pour transformer la réalité.

Dans ce dernier type de recherche, la modélisation du réel peut servir d'outil intermédiaire. Les outils intermédiaires sont des entités physiques qui relient les acteurs entre eux et sont au service de la coordination et de l'action. Ces outils cristallisent un processus collectif et contribuent à harmoniser les pratiques et les problématiques et mettre en cohérence et cohésion les acteurs sociaux (Vinck, 2009). Les modèles sont de plus en plus utilisés voire au cœur des approches participatives (Becu *et al.*, 2008; Ritzema, *et al.*, 2010 ; Voinov et Bousquet, 2010). Leur co-construction favorise une représentation commune sur l'objet évalué et leurs résultats peuvent orienter l'action en permettant de diagnostiquer un problème initial, de choisir entre plusieurs alternatives, d'autoévaluer différentes alternatives pour identifier les leviers d'amélioration.

La recherche-action-en-partenariat (RAP) correspond à un type particulier de recherche intervention, où le partenariat avec les acteurs est formalisé à travers par exemple la définition de cahiers des charges entre les partenaires impliqués dans la recherche [Vall *et al.*, 2016]. La RAP vise à la coordination des acteurs sur un territoire, dans une organisation ou une institution autour d'objectifs partagés en vue de produire des connaissances scientifiques et actionnables et favoriser les apprentissages nécessaires à la résolution des problèmes identifiés en commun (Argyris et Schön, 2002). La RAP se base sur différentes phases successives [Vall *et al.*, 2016]. La première est la phase de problématisation (Callon, 1986) où il faut traduire en problématique les différentes préoccupations des acteurs, imaginer les dispositifs de gouvernance qui garantissent la résolution des problèmes et la production des connaissances actionnables (Argyris et Schön, 2002) ainsi que les dispositifs d'intéressement-enrôlement des nouveaux acteurs (Akrich *et al.*, 1988). Vient ensuite la phase de conception en partenariat des innovations où différentes alternatives sont priorisées puis testées. Il y a enfin la phase de bilan et de gestion du désengagement de la recherche quand les partenaires ont appris à résoudre les problèmes qui avaient motivé la recherche et du côté des chercheurs quand les hypothèses sur les processus sociotechniques en jeu ont été validées [Vall *et al.*, 2016].

Cette place centrale donnée au partenariat apparaît particulièrement pertinente lorsque que les innovations à co-construire sont situées (Berthet *et al.*, 2015). Néanmoins Neef et Neubert (2011) montrent que la participation n'est pas une fin en soi et le niveau de participation des acteurs doit être ajusté au type de recherche (contexte institutionnel et utilisateurs potentiels),

au processus de recherche (méthodes et flexibilité du plan d'action) aux caractéristiques des chercheurs et des acteurs (perception sur le monde de la recherche et disponibilité pour des échanges fréquents), la nature des interactions visées et les résultats attendus.

Dans mon parcours scientifique, je suis ainsi passée d'une recherche de terrain à de la recherche action en partenariat. En effet, si dans le cadre de la thèse la question de recherche est partie de l'identification d'un problème opérationnel, il n'en demeure pas moins qu'elle a été proposée par la recherche. En outre les connaissances et le modèle produits durant ma thèse sur le fonctionnement des exploitations, bien que validés par les producteurs, n'avaient pas vocation à alimenter des échanges avec les acteurs de terrain. Dans le cadre des travaux menés au Brésil, j'ai construit un modèle de simulation du fonctionnement de l'exploitation qui a servi d'outil de discussion entre producteurs et chercheurs sur l'impact à moyen termes des stratégies de production sur les résultats techniques et la défriche de la caatinga [Andrieu et Nogueira, 2010]. J'ai ainsi pu identifier une fonction différente de la modélisation pour explorer des scénarios de changement avec des acteurs de terrain. L'enjeu pour les chercheurs de l'Embrapa impliqués était de renouveler les outils et méthodes de diagnostic des systèmes de production notamment pour les systèmes les plus contraints ne disposant pas de l'irrigation. L'Embrapa souhaitait pouvoir disposer dans ce contexte d'outils de modélisation permettant une approche systémique afin de dépasser les approches descriptives et thématiques plus classiquement menées. Mais là encore la question initiale avait été élaborée par la recherche. De plus, la durée limitée du post-doctorat (18 mois) et son absence d'ancrage dans un projet global n'a pas permis de mettre en place un suivi auprès des producteurs concernés pour évaluer l'impact des propositions techniques sur les systèmes de production. Dans le cadre des travaux menés au Burkina Faso, j'ai pu intégrer un réseau de recherche (d'abord informel puis formalisé à partir de 2009) constitué de chercheurs du CIRDES, du CIRAD, de l'IER, de l'INERA et de l'UPB. Face au constat d'une faible adoption des propositions de la recherche (Landaïs et Lhoste, 1990 ; Nziguheba *et al.*, 2010), nous avons mobilisé une recherche action en partenariat inspirée des évolutions des modes d'intervention de la recherche agronomique en France (Albaladejo et Casabianca, 1997 ; Chia et Deffontaines, 1999) et testée au Burkina Faso dans différents projets successifs (Teria, Fertipartenaires, « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage », et Abaco). Dans le cadre des travaux menés au CIAT je me suis basée sur les acquis méthodologiques de la recherche menée au Burkina Faso en analysant la spécificité d'une recherche-action en partenariat destinée à concevoir des systèmes de production faisant face aux défis posés par le changement climatique.

Dans le cadre de la RAP, la démarche mobilisée était donc basée sur des dispositifs permettant de faciliter l'implication des différents partenaires de la recherche dans 4 principales étapes complémentaires inspirées des différentes étapes de la RAP (Figure 2) :

- La définition du plan d'action basée sur des éléments de diagnostic initial de la situation, mais aussi une caractérisation des connaissances, des stratégies mobilisées par les acteurs pour faire face au(x) problème(s) ;
- L'évaluation de faisabilité de différentes options basées essentiellement sur l'usage de modèles de simulation co-construits avec les acteurs et leur permettant d'analyser les effets de différents scénarios de changement. Ces scénarios correspondant aux alternatives qu'ils proposent mais aussi à celles proposées par les chercheurs ou autres acteurs de développement ;
- L'évaluation in situ de différentes alternatives jugées les plus prometteuses ;
- L'évaluation finale par les acteurs de la démarche et le désengagement ;

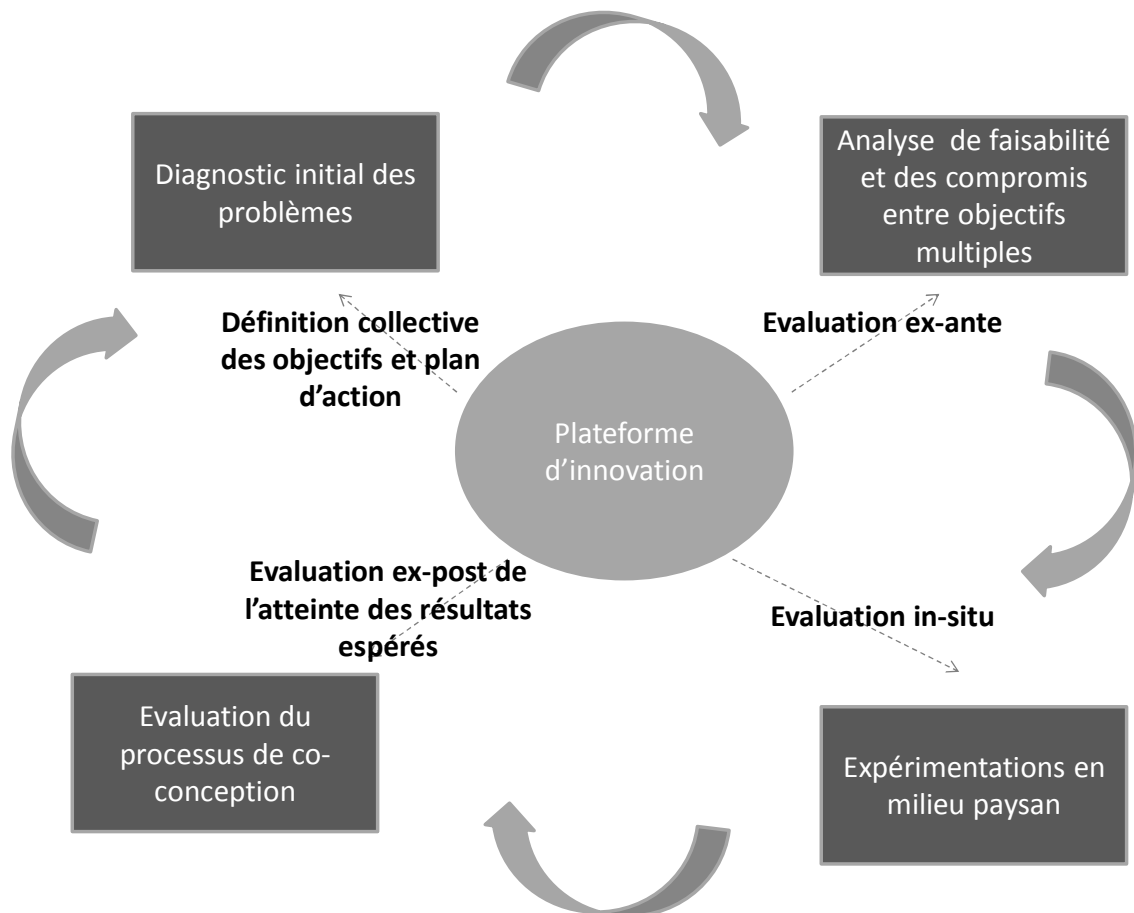


Figure 2 : Structure générale de la démarche méthodologique utilisée dans les travaux de co-conception de systèmes innovants

Cette démarche a été mobilisée pour la co-conception avec les producteurs de systèmes de production basés sur une meilleure prise en compte des interactions au sein de systèmes de polyculture (et élevage) face aux aléas et à la variabilité de leur environnement de production.

3.2. Mise en application pour la co-conception de systèmes agriculture-élevage

En Afrique sub-saharienne et en Afrique de l'Ouest en particulier, les propositions de la recherche pour améliorer les systèmes de production n'ont été que peu ou pas intégrées dans les systèmes de production (Fox *et al.*, 2005 ; Landais et Lhoste, 1990 ; Nziguheba *et al.*, 2010, Sumberg, 1998). Cet échec peut s'expliquer par plusieurs facteurs (climatiques, économiques, politiques, culturels). Mais le manque d'implication des producteurs dans les programmes de recherches visant à résoudre les problèmes auxquels ils sont confrontés est également cité comme un facteur explicatif de la faible adoption des inventions techniques (Faure *et al.*, 2010). Les démarches et dispositifs de recherches ont ainsi évolué pour impliquer davantage les acteurs de terrain dans la formulation des problèmes et l'élaboration des solutions (Callon *et al.*, 2001, Faure *et al.*, 2010).

Au Burkina Faso, la démarche présentée dans la figure 2 a été mise en œuvre dans le cadre de deux projets de recherche (*Modélisation et gestion des systèmes agropastoraux*-Corus 2008-2010, ABACO : *Agroecology Based Aggradation Conservation Agriculture*-Europaid 2011-2015). Dans le premier projet l'enjeu était de co-construire des systèmes basés sur une meilleure intégration des systèmes de culture et d'élevage, alors que dans le second, l'intérêt de systèmes basés sur les principes de l'agriculture de conservation a été exploré.

La posture de recherche action en partenariat mise en œuvre dans ces deux projets a été élaborée puis expérimentée dans les travaux de l'ATP Cirop (Cirad, 2005-2007). Elle repose sur des comités de concertations villageois (CCV) composés d'un représentant par groupement de producteurs ainsi que de conseillers et techniciens des services déconcentrés de l'Etat. Ce sont des instances de dialogue et d'action entre la recherche et les acteurs de terrains constituées pour la durée des projets. Elles visent à identifier et choisir les questions de développement, à élaborer avec les chercheurs des propositions, ou à faire circuler les informations pertinentes du projet. Des représentants des CCV participent à chacun des comités de pilotage de ces projets afin de discuter des résultats, de s'assurer de leur bonne marche, de faire remonter des difficultés de terrain et de définir les choix d'orientation des projets.

Dans le projet « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage », les CCV ont été mobilisés à chacune des étapes de la recherche présentée dans la figure 2.

La première étape a consisté à élaborer un diagnostic partagé sur les limites et opportunités des systèmes de polyculture-élevage. Pour analyser les limites et opportunités dans ces systèmes, nous avons essentiellement cherché à caractériser les flux de biomasse et de nutriments entre systèmes de culture et d'élevage à l'échelle de l'exploitation.

La seconde étape a consisté à explorer des changements possibles au niveau des exploitations pour résoudre certains des problèmes identifiés lors du diagnostic. Ces changements à explorer étaient identifiés par les producteurs et techniciens. Ils pouvaient aussi être identifiés par les chercheurs.

Les outils de modélisation à l'échelle de l'exploitation ont été privilégiés pour cette exploration. Ils permettent de représenter et d'analyser les compromis et les synergies concernant les décisions des ménages (Rodriguez *et al.*, 2014). Le Gal *et al.* (2011) identifient trois principaux types de modèles à l'échelle de l'exploitation. Le premier correspond aux modèles de simulation statiques qui décrivent les opérations agricoles sur la base des stocks et des flux sur une seule année (Martin *et al.*, 2011; Rodriguez *et al.*, 2014). Le second type correspond aux modèles de simulation dynamique à base de règles de décision représentant, sur une ou plusieurs années, les modes de gestion des agriculteurs sous forme «SI Conditions ALORS Action» (Bergez *et al.*, 2012; Moreau *et al.*, 2013). Le troisième type correspond aux modèles de programmation linéaire maximisant une fonction d'utilité (revenu, par exemple) sous contraintes, représentant l'exploitation en tant qu'une combinaison d'activités linéaires, sur une (Groot *et al.*, 2012; Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2012) ou sur plusieurs années (Naudin *et al.*, 2015). Des modèles correspondant à ces différents types ont alors été développés, les processus pris en compte, les variables d'entrée ou de sortie choisies étaient spécifiques de la question étudiée (encadré 1). Les langages de modélisation utilisés étaient variés : Excel ou la programmation orientée objet sous Python ou VB. La validation d'un modèle simulant un système complexe, selon Brown et Kulusari (1996), est l'une des tâches les plus difficiles dans son développement. La validation doit déterminer si le modèle est, dans son cadre expérimental, une représentation valide du système réel compatible avec l'utilisation souhaitée (Kleijnen et Sargent, 2000). L'approche de validation que nous avons généralement utilisée était la validation à dire d'experts où il est demandé à des producteurs ou techniciens d'évaluer le

réalisme des sorties ou de donner leur perception sur l'outil (Becu *et al.*, 2008; Pavé, 2005; Voinov et Bousquet, 2010).

La troisième étape était celle de l'expérimentation en milieu paysan des changements techniques priorisés par les producteurs lors des étapes précédentes. Nous avons ainsi échangé sur plusieurs thèmes techniques ayant fait l'objet de peu d'adoption dans le passé (embouche bovine, cultures fourragères) qui ont ensuite été simulés et expérimentés en milieu paysan (26 producteurs). Dans ce projet, les sorties des expérimentations de terrains permettaient aussi de calibrer et valider les modèles. Simulation et expérimentation sur le terrain étaient donc liées et parties intégrantes de la démarche générale expérimentale de terrain telle que définie dans le tableau 2.

Tableau 2 : Protocole général d'expérimentation

	Etapes	Rôle des modèles
1	Contractualisation : cahiers des charges définissant les apports de chaque producteur	-
2	Diagnostic initial de l'exploitation, description par le producteur de son projet de transformation (objectifs, moyens mis en œuvre)	-
3	Formations, échanges entre producteurs	-
4	Reformulation du projet initial	Simulation de scénarii alternatifs
5	Mise en œuvre et suivi du projet reformulé sur le terrain	-
6	Evaluation du projet	Evaluation par simulation du scénario mis en œuvre

Cikeda

Cikeda était destiné à être utilisé par des conseillers pour aider les producteurs à analyser les impacts de différents scénarios d'évolution tactique et stratégique des exploitations concernant leurs assolements, la gestion de la fertilisation, la gestion des troupeaux et de l'affouragement.

Les entrées du modèle concernent les caractéristiques structurelles de l'exploitation (niveau d'équipement, le nombre de bouches à nourrir, la main d'œuvre familiale, la surface totale de l'exploitation et les capacités maximales de stockage de la fumure organique ou des résidus de récolte), les actions résultant des décisions stratégiques et tactiques ainsi que le type d'année climatique. Les actions renseignées par l'utilisateur concernent le choix d'assolement, les achats et ventes d'animaux, la part des résidus de culture disponibles récoltés, la complémentation éventuelle des animaux durant la saison sèche chaude, la valorisation ou non de la matière organique, les apports de fertilisants chimiques et les achats d'intrants.

Les sorties concernent trois principaux bilans : le bilan alimentaire, le bilan minéral partiel, le bilan fourrager ainsi que le solde économique des activités agro-pastorales.

Ce modèle a été expérimenté en situation de conseil par 3 conseillers et 26 producteurs.

SimFlex

SimFlex est un modèle de recherche développé sous python et permettant d'analyser l'impact sur les résultats technico-économiques de différentes règles de décisions des producteurs à la variabilité de l'environnement de production. L'impact d'une transformation du système de production (par exemple modification des structures de production, introduction d'un atelier d'embouche) sur sa réponse à la variabilité climatique et économique peut aussi être étudié.

Le modèle a deux principales entrées : des séries pluriannuelles de données climatiques (précipitations) et économiques (prix des engrais, prix d'achat et de vente des bovins, prix d'achat des tourteaux, prix de vente du coton) d'une part, et les caractéristiques structurelles de l'exploitation d'autre part (surface totale, capacités de stockage, effectifs bovins, effectif familial).

Les sorties sont pour certaines identiques au modèle précédent : le bilan alimentaire, le bilan minéral, le bilan fourrager ainsi que le solde économique des activités agro-pastorales. Les sorties concernent également les décisions d'un producteur virtuel (le choix d'assolement, la fertilisation du maïs, la fauche des résidus, l'achat de tourteau et/ou le départ en transhumance du troupeau, la vente d'animaux) qui sont fonction des données de l'environnement (prix des intrants et produits, précipitations) et des différents bilans.

OptimCikeda

OptimCikeda est modèle de programmation linéaire développé sous gams. Il permet d'optimiser l'allocation des ressources productives pour maximiser le revenu et de comparer la situation actuelle du producteur à la situation optimale. L'impact d'innovations sur l'allocation des ressources et le revenu peut également être testé.

Les entrées concernent les ressources de l'exploitation (superficie totale, intrants, besoins/ disponibilité en main d'œuvre et lot d'animaux en début de l'année) considérées comme des contraintes techniques, les activités possibles de l'exploitation et leurs besoins unitaires en intrants.

Les sorties sont les allocations des ressources, les combinaisons de productions (assolement, choix d'intrants, allotement, complémentation), les produits (récoltes, résidus de cultures, lots d'animaux et fèces) ainsi que le revenu optimal.

AMBAWA

AMBAWA est un modèle multi-agent développé sous Cormas. AMBAWA (Modèle de flux de biomasse basé sur les agents agropastoraux) permet de représenter les flux de biomasse entre les systèmes de culture et d'élevage à l'échelle de la parcelle, des exploitations et du village afin d'évaluer l'effet des pratiques de gestion innovantes sur la productivité agricole. Les entrées concernent les proportions de quatre types d'agriculteurs (agriculteur d'autosubsistance, agriculteur orienté marché, agroéleveur, éleveur) à l'échelle du territoire villageois, les surfaces cultivées par chaque type d'agriculteurs, les effectifs animaux. Les règles d'allocation des animaux sur les différents compartiments du territoire (savane, parcelles proches ou éloignées du siège de l'exploitation) ainsi que l'allocation de la fumure (déjections, compost) et les rendements associés sont simulés.

Dans le cadre du projet ABACO, la même démarche a été adoptée mais une réflexion spécifique a été faite sur la façon de faire évoluer les CCV pour mieux aborder la question de l'agriculture de conservation. Nous avons cherché à positionner le CCV par rapport à la littérature existante sur les plateformes d'innovation compte tenu de travaux croissants ayant montré leur effectivité comme laboratoire de conception de l'innovation (Boogaard *et al.*, 2013 ; Nederlof *et al.*, 2011, Pali and Swaans, 2013) mais aussi de l'intérêt particulier porté par des bailleurs de fonds tels que la Banque Mondiale ou la FAO en Afrique. Dans ces plateformes, la dimension multi-acteurs est importante et le lien aux filières très marqué. Le CCV peut être défini comme une plateforme d'innovation visant à favoriser les interactions entre agriculteurs et éleveurs pour co-construire des innovations techniques. Il nous a néanmoins semblé que, pour aborder la question de l'agriculture de conservation, il fallait aussi tenir compte de questions organisationnelles dépassant l'échelle de l'exploitation pour prendre en compte l'accès aux résidus de culture ou au marché et par conséquent inclure des acteurs supplémentaires. La plateforme d'innovation proposée dans ce projet était alors composée de deux organes. Le premier était un organe institutionnel chargé d'aborder les questions d'accès au marché mais surtout d'accès aux résidus de culture ou au foncier et composé des instances traditionnelles, représentants des organisations de producteurs de coton et d'éleveurs, des services techniques. Le second était un organe technique correspondant au CCV et chargé de co-concevoir des systèmes de culture basés sur les principes de l'agriculture de conservation – réduction du travail du sol, couvert permanent, rotation - et composé plus spécifiquement des représentants des organisations de producteurs de coton et d'éleveurs et des services techniques. La recherche

avait pour but de faire des propositions techniques et d'animer ces plateformes, mais était aussi chargée du suivi-évaluation (nouvelles connaissances, adoption de nouvelles pratiques).

Dans le cadre de la démarche ABACO, nous avons mobilisé et adapté certains des outils de simulation développés dans le projet « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage ». Nous avons en particulier adapté le modèle Cika_{da} pour analyser avec les producteurs les ajustements d'assolement et en particulier les articulations entre systèmes de culture et d'élevage pour favoriser l'insertion de l'AC au niveau de l'exploitation. Mais nous avons aussi mobilisé des outils d'analyse à l'échelle du territoire villageois pour échanger avec les producteurs sur les conditions d'insertion de zones dédiées à l'agriculture de conservation dans les villages. Les modèles multi-agents sont généralement utilisés pour rendre compte des interactions complexes dépassant l'échelle de l'exploitation entre différents agents et en particulier les interactions entre les activités humaines et leur environnement (Belem *et al.*, 2011 ; Bell *et al.*, 2016 ; Bousquet *et al.*, 1998). Nous avons ainsi développé le modèle multi-agent AMBAWA (voir encadré 1) et des cartes à l'échelle du territoire villageois permettant de définir des zones où la pression de l'élevage était moindre (loin des campements des éleveurs).

3.3. Mise en application pour la co-conception de systèmes faisant face aux défis posés par le changement climatique

Dans les travaux que j'ai menés durant mon affectation au CIAT, le concept d'agriculture climato-intelligente (Climate Smart Agriculture - CSA) proposé par la FAO (FAO, 2010) a été central. Il vise à lier la problématique du changement climatique (CC) à celle de la sécurité alimentaire. Il vise ainsi à promouvoir des systèmes agraires sur la base de trois piliers : (1) augmentation durable de la productivité pour améliorer équitablement les revenus et la sécurité alimentaire ; (2) adaptation et construction de résilience depuis la ferme jusqu'aux niveaux nationaux ; et (3) atténuation des effets du climat *via* une réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Ce concept issu de l'arène politique en vue d'améliorer la prise en compte de l'agriculture dans le cadre des accords internationaux sur le climat est controversé (Fallot, 2016). Des critiques et des controverses ont surgi sur la signification de l'agriculture climato-intelligente (Steenwerth *et al.* 2014). Certains auteurs craignent que le concept soit coopté par certains des plus grands contributeurs industriels aux émissions de gaz à effet de serre (Pimbert, 2015). D'autres qu'il n'accorde que peu d'attention aux pratiques traditionnelles ou aux approches agroécologiques

(Altieri *et al.* 2015). Saj *et al.* (2017), suggèrent à ce propos de privilégier formellement les options agro-écologiques dans les initiatives climato-intelligentes pour une meilleure crédibilité du concept. Torquebiau *et al.* (2018) insistent sur le risque de compromettre les intentions générales de l'agriculture climato-intelligente lorsque les synergies entre les trois piliers ne sont pas explorées. Malgré ces controverses, le concept m'a néanmoins fourni un cadre d'analyse pour réfléchir à l'articulation entre des enjeux de développement et de changement climatique en adoptant le positionnement de Saj *et al.* (2017) sur les synergies entre ce concept et celui d'agroécologie.

Concernant la démarche de co-conception mobilisée, nous avons fait le choix de ne pas développer des dispositifs transitoires (pour la durée des projets de recherche comme cela avait été fait Burkina Faso), mais plutôt de nous baser sur des dynamiques existantes et donc pouvant perdurer à l'issue du projet. En Colombie il s'agissait de la dynamique créée entre le programme transversal CCAFS (*Climate Change and Food Security*) du CGIAR, une ONG chargée de faciliter les actions sur le terrain, des groupements de producteurs et des représentants des municipalités. Ces acteurs étaient réunis autour d'un objectif commun à savoir renforcer les capacités des agriculteurs à faire face au changement climatique à travers la définition de plans individuels d'adaptation au changement climatique (basés sur une analyse de vulnérabilité des exploitations et l'identification de changements techniques permettant de limiter cette vulnérabilité, puis leur expérimentation avec de nombreux ateliers d'échange entre producteurs). Cette dynamique a été identifiée comme une potentielle plateforme d'innovation à renforcer à travers la proposition de démarche et outils pour suivre le processus de co-conception en cours.

Nous avons aussi fait le choix de mieux caractériser le paysage sociotechnique exogène qui est la toile de fond ou le contexte plus large, qui influence les dynamiques de changement technologique (Geels, 2002, 2011). Il s'agissait d'une part d'analyser la façon dont un réseau d'acteurs locaux influe sur les perceptions et pratiques d'adaptation des agriculteurs au changement climatique comme mis en évidence par Dowd *et al.* (2014) pour des adaptations de rupture en Australie. Il s'agissait d'autre part d'analyser le rôle de l'environnement politique pour favoriser des changements techniques au niveau local (Harvey, *et al.* 2014). En outre la question du changement climatique invite à également mieux caractériser les interactions entre les changements techniques et leurs effets sur les écosystèmes locaux, régionaux voire globaux (Vermeulen *et al.* 2012).

La démarche de co-conception que j'ai mobilisée repose alors sur différentes étapes inspirées de celles présentées dans la section 2. Néanmoins elles ont été adaptées pour mieux tenir compte de l'environnement sociotechnique des producteurs et de l'effet des changements techniques sur les écosystèmes.

La première étape correspond au diagnostic initial visant à identifier la perception des producteurs sur le CC (Basu *et al.*, 2015 ; Galdies *et al.*, 2016; Lupo *et al.*, 2016), leurs stratégies actuelles pour faire face à la variabilité climatique, et les alternatives qu'ils souhaitent mettre en place pour faire face à des enjeux à court terme telles que l'amélioration de la sécurité alimentaire tout en intégrant le défi posé par CC. Elle vise également à identifier si la diversité des perceptions des producteurs sur le CC et des stratégies d'adaptation qu'ils mobilisent sont le fruit d'échanges spécifiques d'informations au sein de leur environnement institutionnel (Dowd *et al.*, 2014). Pour ce faire nous avons combiné analyse des correspondances multiples et analyse des réseaux sociaux pour (1) réaliser une typologie des perceptions et stratégies des producteurs en fonction de caractéristiques socio-économiques telles que l'âge, le genre, l'appartenance à un groupe (2) analyser le lien entre les types identifiés et les acteurs leur divulguant de l'information technique. Cette analyse a été menée sur un échantillon de 198 exploitations issues du site d'étude en Colombie.

La deuxième étape de la démarche correspond à l'évaluation de faisabilité de changements techniques à l'échelle de l'exploitation. Cette étape est basée sur un modèle de simulation co-construit avec les acteurs et leur permettant d'analyser les effets de différents scénarios de CC, des alternatives qu'ils proposent mais aussi d'alternatives proposées par les chercheurs ou autres acteurs de développement. Ce modèle vise en particulier à analyser à l'échelle de l'exploitation l'effet de l'introduction de ces changements techniques sur les tensions et synergies entre les trois piliers du concept d'agriculture climato-intelligente (productivité, adaptation, mitigation). J'ai ainsi, en partenariat avec les producteurs et deux collègues du CIAT travaillant sur la quantification des émissions de gaz à effet de serre construit un outil dénommé « CSA calculator ». Nous nous sommes dans un premier temps basés sur un outil existant CoolFarmTool (Hillier, 2012), permettant de quantifier l'ensemble des sources et puits d'émissions/séquestration de gaz à effet de serre à l'échelle de l'exploitation. En revanche, il ne permet pas de considérer les autres piliers du concept d'agriculture intelligente face au climat. Nous avons donc introduit des indicateurs issus de ceux proposés au sein de la littérature

pour tenir compte des autres piliers du concept mais en veillant à rester opérationnel dans le cadre d'un exercice participatif avec des producteurs et des ONG. Nous nous sommes aussi basés sur les enseignements tirés au Burkina Faso sur le type de représentation du fonctionnement de l'exploitation le plus effectif dans le cadre d'échanges avec des producteurs et avons opté pour une représentation des flux de ressources entre sous-systèmes et en déduire un certain nombre d'indicateurs simplifiés selon les piliers du concept d'agriculture intelligente face au climat (Hammond *et al.*, 2017) (Tableau 3).

Tableau 3: Principaux indicateurs mesurées dans l'outil « CSA calculator »

Pilar CSA	Indicador	Calculation
Productivity	Caloric ratio of the farm (%)	Caloric supply/Caloric demand x 100
	Fodder ratio of the farm (%)	Fodder supply/Fodder demand x 100
	Cost benefit ratio (%)	Benefit/Cost x 100
Adaptation	Biodiversity index (%)	Assessment based on Gobbi, J., Casasola, F., 2003.
	Water balance (%)	Water supply/water demand x 100
	Nutrient balance (%)	Nutrient supply/nutrient demand x 100
Mitigation	Emission/Sequestration of CO ₂	CoolFarmTool

La troisième étape correspond à l'expérimentation in situ de différentes alternatives jugées les plus prometteuses par les agriculteurs. Elle est inspirée des travaux menés au Burkina Faso et l'enjeu est avant tout d'analyser comment le changement technique peut s'articuler avec les contraintes qui existent au sein de l'exploitation et d'évaluer des dimensions non prises en compte dans les modèles (pénibilité des changements, gestion des mauvaises herbes...).

La quatrième étape vise à évaluer le processus de co-conception. Elle se base d'une part sur une analyse de ses effets sur les interactions entre acteurs ou les connaissances produites, comme ce qui avait été fait dans les travaux menés au Afrique de l'Ouest. Elle se base d'autre part sur une analyse des impacts des changements techniques en dépassant les frontières de l'exploitation pour tenir compte des impact environnementaux liés à l'approvisionnement en intrants, la gestion des systèmes de culture et d'élevage ainsi que la transformation des produits agricoles. Nous avons alors proposé une méthode appelée LCA4CSA [Acosta-Alba *et al.*, 2019]. Cette méthode basée sur l'analyse des cycles de vie permet de dépasser l'échelle de l'exploitation et d'intégrer l'amont (la production et le transport des intrants) et l'aval (la transformation des produits) (Guinée *et al.*, 2002). Elle permet surtout d'analyser l'impact des changements techniques non seulement sur les émissions de gaz à effet de serre mais sur d'autres indicateurs environnementaux ayant du sens dans la zone étudiée (lié par exemple à la gestion des ressources en eau dans les bassins versants).

Une dernière étape permet de décrire les politiques de changement climatique et développement agricole et d'analyser d'une part les articulations ou antagonismes dans les textes et dans les actions visant à aider les agriculteurs à faire face au changement climatique. Il s'agissait d'autre part de proposer des outils aidant ce type d'acteurs à prioriser des investissements en matière d'agriculture climato-intelligente (étude réalisée spécifiquement au Guatemala et au Mali).

Je montre dans les sections suivantes le type de résultats produits par ces démarches pour co-concevoir des systèmes de polyculture-élevage au Burkina Faso ou devant faire face aux défis posés par le changement climatique.

4. Résultats produits sur la co-conception de systèmes de polyculture-élevage au Burkina Faso

Les projets de recherche ont été menés dans quatre villages contrastés du Burkina Faso : Yilou et Sindri (1°37'40'' Ouest ; 13°04'18'' Nord) situés dans la zone soudano-sahélienne et Koumbia (3°41'15'' Ouest; 11°14' 47'' Nord) et Kourouma (12° 87' 29'' de lat. N ; 3° 45' 59'' de long. O) situés en zone soudanienne. Outre les différences de pluviosité, ces villages se distinguent par leur densité de population (Tableau 4), leurs systèmes de culture dominants et la charge animale.

Dans ces zones, différents types de systèmes ont été identifiés (Vall *et al.*, 2006). On trouve des agriculteurs produisant essentiellement des céréales pour la consommation familiale (les surplus éventuels étant vendus) et possédant des animaux de trait, en particulier à Koumbia où les agriculteurs cultivent également du coton ayant permis de générer des revenus. On trouve également des éleveurs qui cultivent des céréales pour l'autoconsommation mais tirent leur revenu des troupeaux de ruminants. Les agro-éleveurs forment un type émergent issu de la sédentarisation des éleveurs ou de l'acquisition de cheptel par les agriculteurs pour diversifier les sources de revenus notamment à Koumbia.

Ces producteurs distinguent trois grandes saisons caractérisées par les activités dominantes et les ressources agropastorales disponibles, même si certains éleveurs différencient également des périodes de transition entre ces trois principales saisons. La saison pluvieuse, qui débute généralement en mai et se termine durant le mois d'octobre, est la période des activités agricoles ; les animaux d'élevage sont alors éloignés des zones de cultures. La saison sèche froide, de novembre à fin février, est celle des récoltes de grains, pour la consommation familiale ou la vente, et de paille, pour la consommation des animaux et/ou la production de fumure organique ; les animaux ont ensuite accès en vaine pâture aux résidus des parcelles récoltées. Durant la saison sèche chaude, de mars à fin avril, la biomasse fourragère devient un facteur limitant ainsi que l'eau d'abreuvement des animaux ; les stocks fourragers sont alors consommés et, pour certains troupeaux, c'est le départ en transhumance.

Tableau 4 : Quelques caractéristiques des villages d'étude

Caractéristiques	Sindri	Yilou	Koumbia	Kourouma
Pluviométrie (mm/an)	800	550	900	1100
Densité de la population (hab./km ²)	70	70	55	45
Charge animale (UBT/ha)	3	2	4	5
Système de culture dominant	Cultures associées (sorgho +niébé)		Rotation coton // maïs	

4.1. Diagnostic des systèmes de polyculture élevage

Ce diagnostic a porté essentiellement sur les modes d'utilisation des résidus de culture par les différents types de producteurs des villages d'étude et leurs effets sur la fertilité des sols [Diarisso *et al.*, 2015 ; Diarisso *et al.*, 2016].

Il a ainsi montré que les agriculteurs collectent 30% de leurs résidus de maïs pour alimenter leurs animaux (de trait essentiellement maïs aussi petits ruminants) durant la saison sèche chaude, tandis que les agro-éleveurs et les éleveurs stockent 50% de leurs résidus. Les résidus laissés au champ sont consommés par les animaux des agro-éleveurs et éleveurs. La fumure animale produite est essentiellement utilisée pour fertiliser les champs des éleveurs. Par conséquent, il y a d'importants transferts de fertilité si bien que les surfaces cultivées des producteurs ayant peu d'animaux présentent un déséquilibre minéral. Les bilans minéraux partiels calculés à l'échelle de l'exploitation pour l'azote (N) et le potassium (K) étaient négatifs pour les différents types d'exploitations, sauf pour l'N chez les éleveurs (Tableau 5). Les bilans N et K des parcelles cultivées étaient généralement négatifs pour tous les types de producteurs. Les bilans partiels pour le phosphore (P) étaient généralement positifs, essentiellement du fait de l'utilisation d'engrais phosphatés. Ce diagnostic a confirmé qu'une meilleure intégration entre systèmes de culture et d'élevage à l'échelle des exploitations et des territoires villageois pouvaient permettre un meilleur recyclage des éléments minéraux.

Tableau 5: Bilans minéraux partiels à l'échelle des exploitations (kg farm-1) à Koumbia, Burkina Faso [Diarisso *et al.*, 2015].

	Self-subsistence oriented crop farms			Market oriented crop farms			Agro -pastoralist farms			Pastoralist farms		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Inflows	171	81	75	424	218	217	214	102	129	491	298	372
Outflows	178	43	164	474	117	421	257	80	250	468	156	464
Balance	-7	38	-90	-49	101	-204	-43	23	-121	23	124	-92

Nous avons aussi montré que les rendements de la plupart des cultures étaient faibles et que l'application de fertilisations étaient variable entre types d'exploitation mais aussi entre parcelles au sein d'une même exploitation avec des niveaux d'application supérieurs (en particulier pour les engrais organiques) sur les parcelles proches du siège de l'exploitation dans le village de Yilou (Figure 3, [Diarisso *et al.*, 2016]).

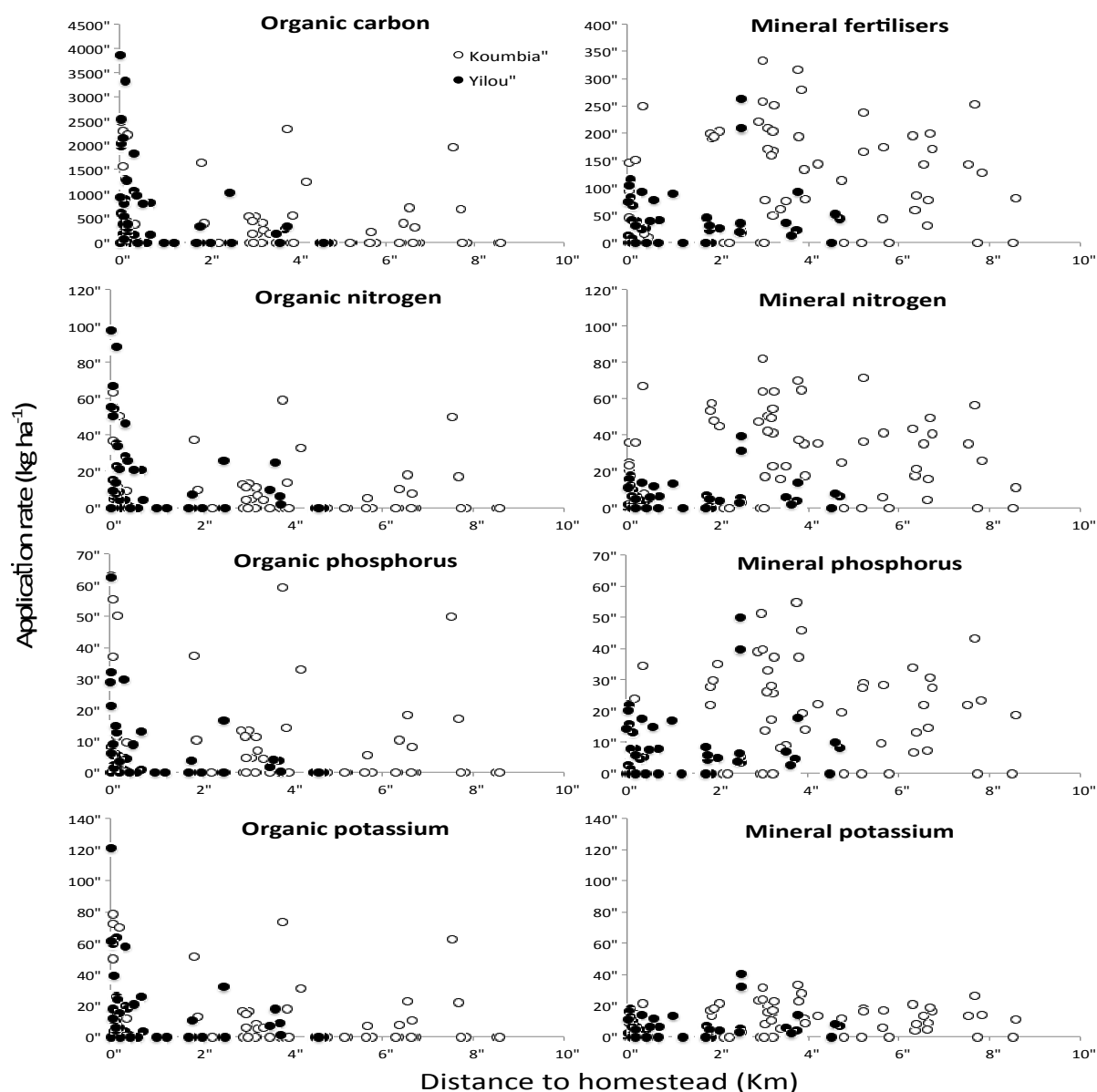


Figure 3: Apports d'engrais minéraux et organiques en fonction de la distance au siège de l'exploitation à Yilou (n = 63) et Koumbia (n = 60) villages [Diarisso *et al.*, 2016].

Ces diagnostics ont également porté sur les connaissances des producteurs et en particulier sur leurs connaissances des liens entre les différents flux entre systèmes de culture et d'élevage [Sempore *et al.*, 2016]. Tous les producteurs ont reconnu qu'il existait un lien positif entre la production d'engrais organique et la production végétale (rendement des grains et de la paille)

(figure 4). Ils ont également estimé que l'augmentation de la taille des troupeaux permettait d'augmenter la production d'engrais organique dans les fermes. Tous les éleveurs et un tiers des agro-éleveurs ont associé une augmentation de la production végétale avec une augmentation du fourrage disponible à la ferme grâce à la collecte des résidus de culture. Cependant, seulement un tiers des agro-éleveurs et des éleveurs a saisi l'articulation des quatre composantes en établissant le lien entre une augmentation du fourrage disponible et une augmentation de la production animale. Ces différences de connaissances, largement liées à la place des animaux dans le système de production de chaque ferme, jouent un rôle central dans les stratégies considérées par chaque producteur pour intégrer les systèmes de culture et d'élevage.

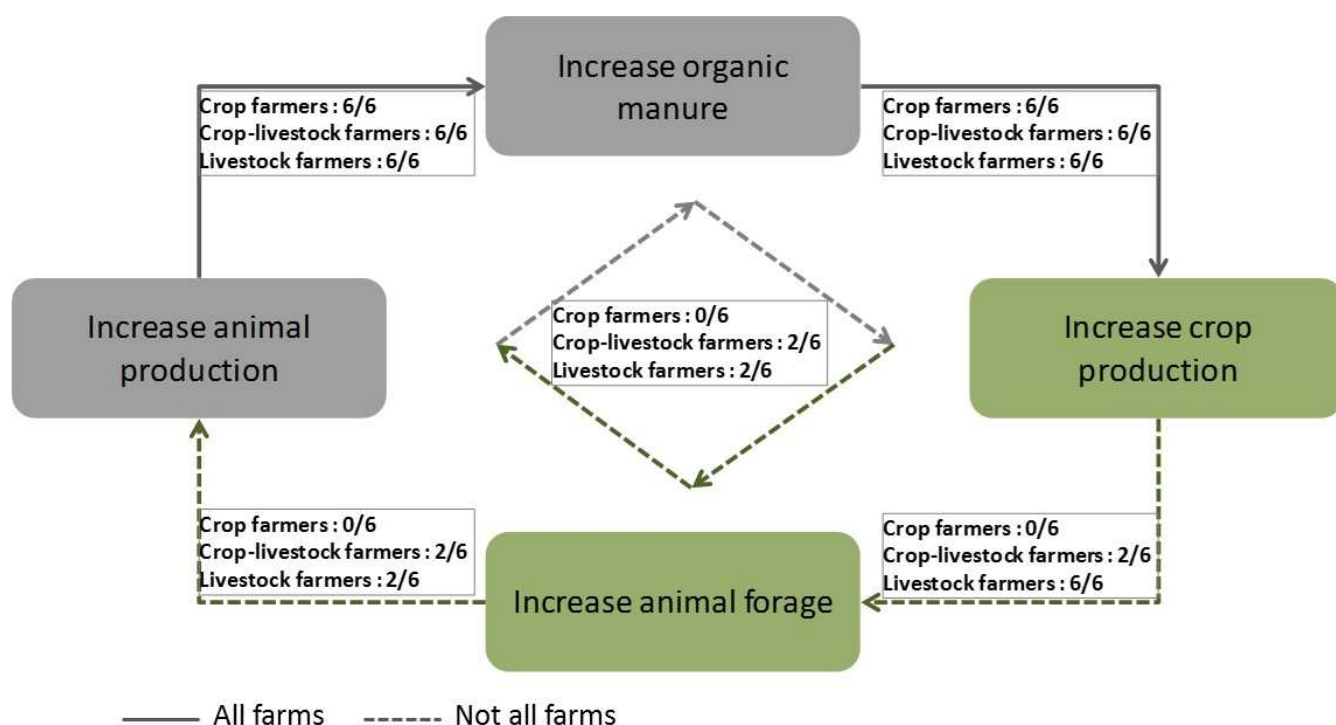


Figure 4: Connaissances des producteurs sur les liens entre les composantes de l'intégration agriculture-élevage [Sempore *et al.*, 2016]

Au sein des plateformes construites dans le cadre des projets « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage » et ABACO, ces éléments de diagnostic ont confirmé qu'il est possible de mieux valoriser les résidus de cultures pour faire face aux déséquilibres minéraux constatés chez certains types de producteurs. La production de compost et l'agriculture de conservation constituent des alternatives potentiellement intéressantes pour améliorer les bilans minéraux sur les parcelles cultivées, mais pour les agro-éleveurs et les éleveurs des pistes spécifiques doivent être envisagées comme l'introduction de cultures fourragères pour faire face à leurs besoins de fourrages pour alimenter les animaux. Les efforts requis pour produire et récolter plus de biomasse étant souvent associés à une activité

génératrice de revenu telle que l'embouche bovine (Basu and Scholten 2012 ; Okike *et al.* 2005). L'embouche bovine telle que pratiquée dans la zone, vise à acheter en milieu de saison sèche des animaux maigres, à les alimenter avec une alimentation concentrée et du fourrage conservé afin d'améliorer leurs qualités bouchères donc leur valeur marchande, puis à les vendre en fin de saison sèche, période durant laquelle l'offre d'animaux gras est limitée. Une autre pratique consiste à acheter les animaux amaigris en fin de saison sèche à faible coût les intégrer au reste du troupeau pendant l'hivernage puis les engraisser en début de saison sèche chaude de l'année suivante avant d'être vendus. Les diagnostics montrent aussi l'importance d'améliorer les connaissances des producteurs sur les flux entre systèmes de culture et d'élevage dans le cadre du processus de co-conception de systèmes innovants.

4.2. Evaluation des compromis entre usages et usagers des résidus de culture

Dans les deux projets, la modélisation a constitué un outil privilégié pour analyser ex-ante les effets contrastés (sur les performances agronomiques, les besoins fourragers, les besoins alimentaires de la famille, les revenus) de l'adoption de pratiques innovantes visant à mieux valoriser les résidus de culture pour produire du fourrage (pour l'embouche en particulier), du compost ou pour assurer une couverture du sol. La modélisation a en outre permis d'analyser les effets de ces pratiques sur des usagers variés (les différents types de producteurs rencontrés au sein des territoires villageois). Les simulations réalisées grâce à ces outils correspondaient d'une part à des situations stylisées d'adoption des innovations pensées par le chercheur compte tenu des éléments de diagnostic. Il s'agissait par exemple des simulations réalisées pour analyser l'effet de l'adoption du compost, de la production de stocks fourragers ou de systèmes de cultures basés sur les principes de l'agriculture de conservation sur les performances des différents types d'exploitations rencontrées dans la zone d'étude. Les simulations réalisées correspondaient d'autre part à des changements proposés par les producteurs eux-mêmes lors de séances de travail.

4.2.1. Simulations de situations stylisées

Dans le premier cas de figure (situations stylisées d'adoption d'innovations pensées par le chercheur) nous avons pu montrer à l'aide du modèle Simflex que l'adoption du compost n'augmente pas substantiellement le revenu mais limite la variabilité interannuelle [Andrieu *et al.*, 2015a]. En revanche l'embouche permet des améliorations importantes du revenu les

années se caractérisant par une pluviométrie importante et des prix bas pour les intrants en particulier pour les agriculteurs et dans une moindre mesure les agro-éleveurs (Figure 5). Chez les éleveurs qui ont la possibilité de partir en transhumance pour tamponner les effets d'aléas climatiques et économiques, l'embouche se traduit par des résultats positifs quel que soit le type d'année. Ce type de changement technique nécessite donc des capacités de gestions supplémentaires de la part de l'agriculture pour évaluer les fluctuations de l'environnement économique et climatique et déterminer dans quelle mesure il est opportun de la mettre en œuvre. Nous avons conclu qu'il est important d'évaluer les performances des interventions techniques non seulement en termes de productivité mais aussi en termes de flexibilité pour mieux comprendre la vulnérabilité des exploitations à la variabilité climatique et économique.

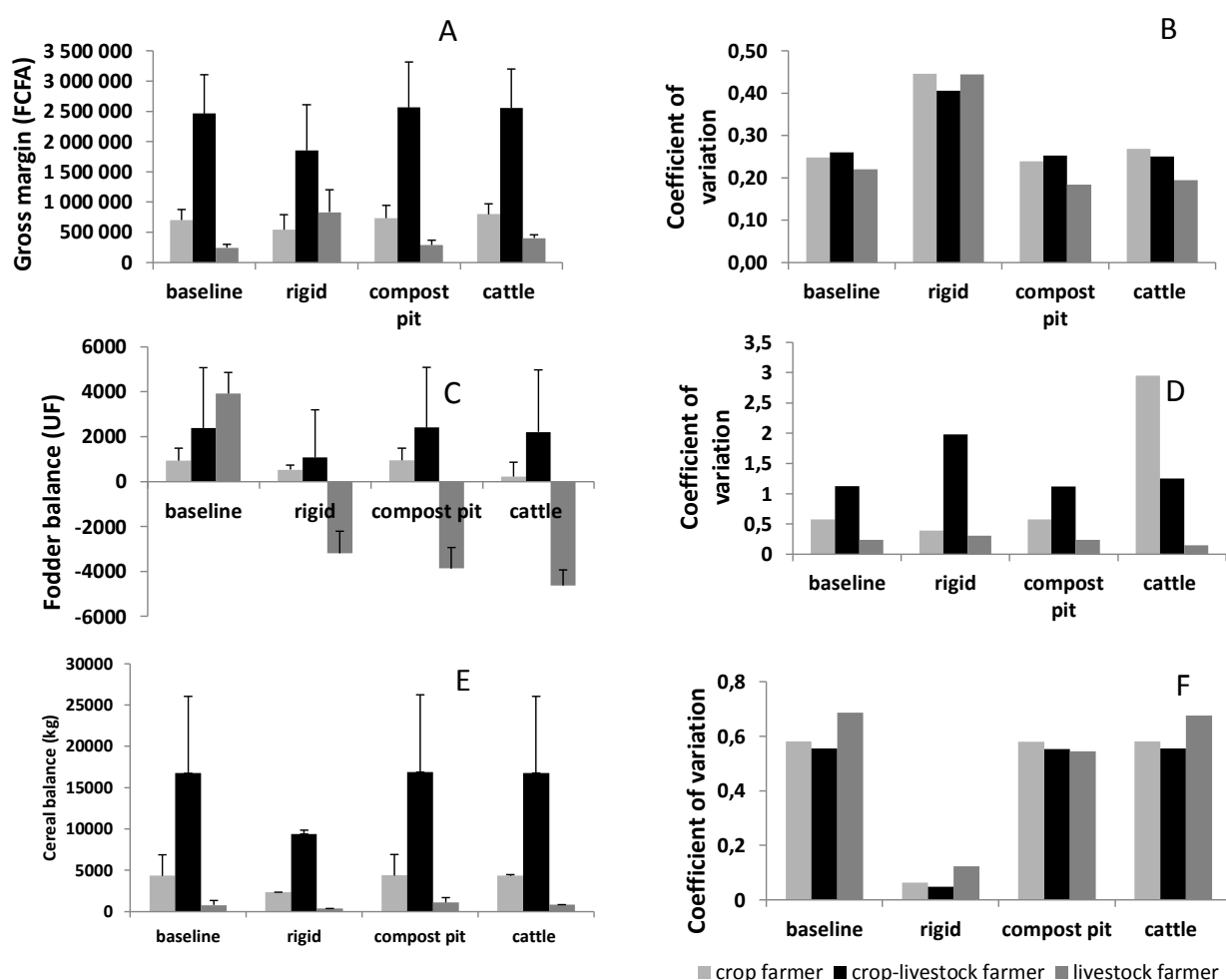


Figure 5: Comparaison de différents scénarios pour les différents types d'exploitations, A: Le revenu moyen calculé pour 10 années simulées, la barre d'erreur montrant l'écart-type, B: coefficient de variation du revenu, C: Bilan fourrager moyen, D: coefficient de variation du bilan fourrager, E: bilan céréalier moyen, F: coefficient de variation du bilan céréalier [Andrieu *et al.*, 2015a]

Nous avons également analysé ex ante avec le modèle Cikeda les effets de l'adoption de l'agriculture de conservation sur les performances d'exploitations virtuelles représentatives de cas-types identifiés sur le terrain. Nous avons alors montré que l'introduction de l'embouche peut être un moteur pour l'adoption de l'AC pour les exploitations ayant des charges inférieures à 1,5 animal/ha [Djamen *et al.*, 2015].

Ces simulations de situations stylisées d'adoption ont aussi été menées en considérant le territoire villageois à l'aide d'un calculateur développé sous Excel puis du modèle multi-agent AMBAWA⁵. Elles ont permis de montrer que la valorisation individuelle des résidus de culture pour la production de compost, de stocks fourragers ou pour le couvert permanent des sols pouvait améliorer les synergies entre systèmes de culture et d'élevage à l'échelle de l'exploitation mais accroître des conflits à l'échelle du territoire villageois entre types de producteurs [Andrieu *et al.*, 2015b]. En effet, dans le cas d'une valorisation des résidus de culture pour produire du compost ou réaliser des stocks fourragers, les rendements du maïs ont été améliorés dans les scénarios simulés (Figure 6). Mais l'effet était négatif sur l'alimentation des animaux à l'échelle du territoire villageois, et sur les bilans N des zones de savanes. L'effet était particulièrement négatif dans le cas du scénario basé sur l'introduction de compost comparé à celui basé sur la constitution de stocks fourragers. Pour ce qui est d'une valorisation des résidus de culture pour la couverture permanente du sol, nous avons montré qu'au-delà d'un certain seuil de valorisation des résidus de culture il pouvait y avoir des conséquences négatives sur les restitutions de fumure via les animaux et au final une baisse de la productivité individuelle pour certains types de producteurs.

Nous avons conclu que la valorisation des résidus de culture à l'échelle de l'exploitation pour augmenter la productivité ne peut être envisagée sans tenir compte des tensions potentielles à l'échelle du village. Ce type de changements techniques requiert des négociations entre types de producteurs.

⁵ Diarisso, Tidiane, Andrieu, Nadine, Le Page, Christophe, Corbeels, Marc, Bousquet, François, Tittone, Pablo (2015, November 23). "AMBAWA, an Agent-based Model of Biomass flows in Agropastoral areas of West Africa" (Version 1.0.0). *CoMSES Computational Model Library*. Retrieved from: <https://www.comses.net/codebases/4808/releases/1.0.0/>

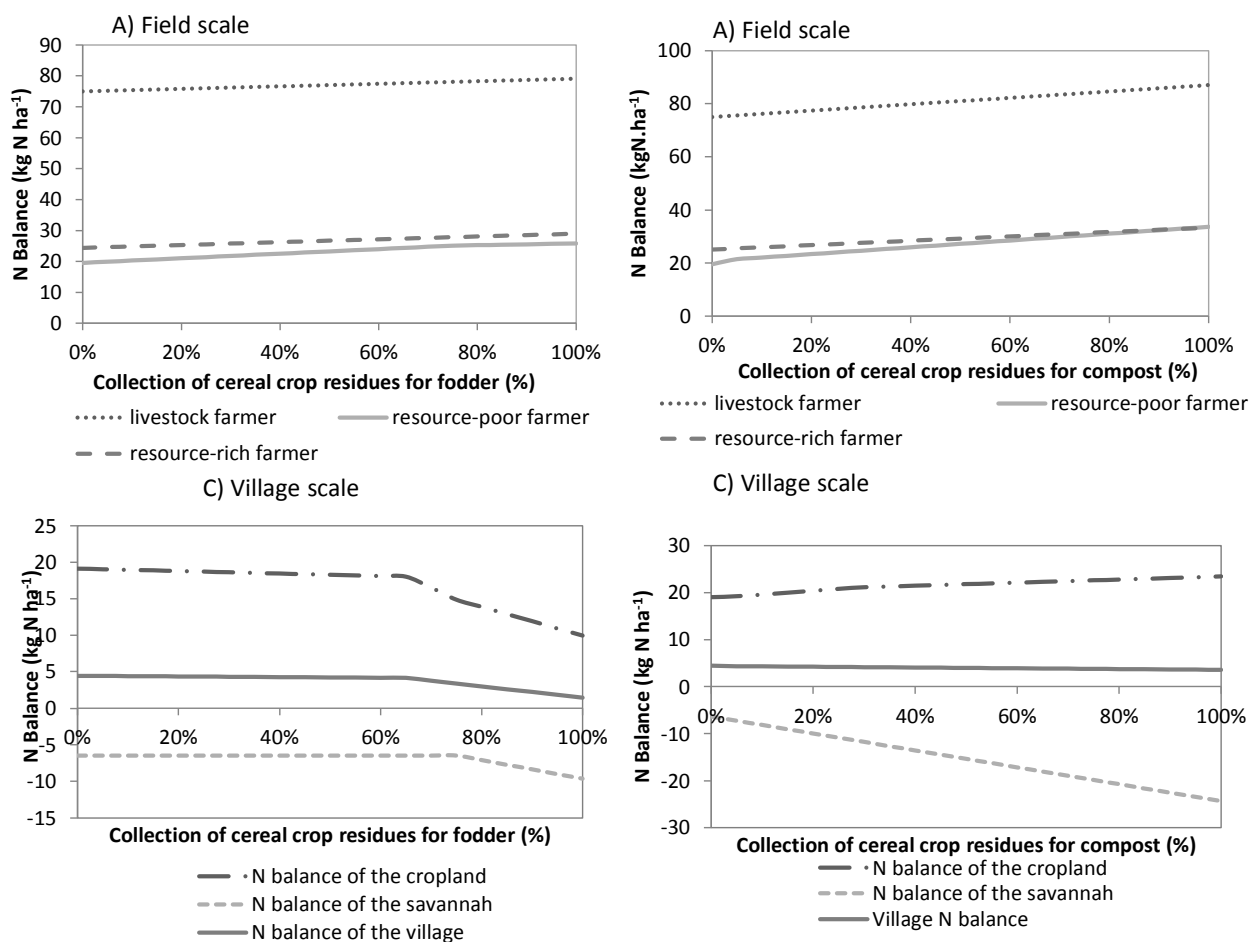


Figure 7: Indicateurs de fertilité pour les scénarios “stocks fourragers” et “compost” en fonction du pourcentage de ramassage des résidus de culture : A) bilan N à l’échelle de la parcelle, B) bilan N à l’échelle du village [Andrieu *et al.*, 2015b].

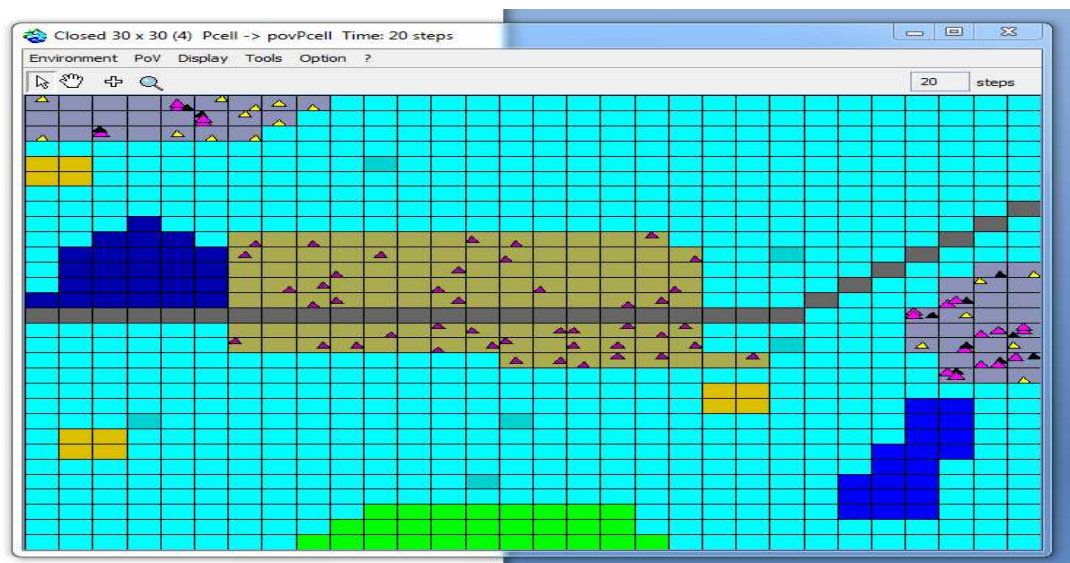


Figure 6: Déplacement simulé des animaux du village durant la saison des pluies sur les zones de pâturages (gris foncé) les zones cultivées (bleu pâle), les cours d’eau (bleu foncé), les zones protégées (vert), les routes (marron), et les bâtiments (en jaune les campements des éleveurs et en marron pâle les maisons des populations sédentaires)

4.2.2. Simulations avec les producteurs

Dans le deuxième mode d'utilisation de la modélisation comme outil de discussion avec les producteurs, nous avons pu tester de façon itérative différents scénarios qu'ils avaient eux-mêmes proposés [Andrieu *et al.*, 2012, Sempore *et al.*, 2015, 2016].

Les trois premiers outils présentés dans l'encadré 1 ont été utilisés pour évaluer différentes tactiques pour la prochaine saison de culture avec 18 producteurs représentatifs des trois types de producteurs (agriculteurs, éleveurs, agro-éleveurs) rencontrés dans les villages de Koumbia et de Kourouma entre 2011 et 2012

Pour un sous-groupe de six producteurs, Cikedà a été plus spécifiquement utilisé pour tester différents scénarios de changements stratégiques.

Dans les deux cas de figure (changements stratégiques et tactiques), différents scénarios interactifs étaient simulés. Tout d'abord un scénario 0 de référence correspondant aux caractéristiques structurelles de l'exploitation et pratiques conventionnelles était simulé. Ensuite différents scénarios étaient simulés correspondant à des changements stratégiques et tactiques introduits par le producteur en interaction avec un chercheur [Sempore *et al.*, 2015 ; 2016] ou un technicien [Andrieu *et al.*, 2012 ; Sempore *et al.*, 2011] en se basant sur les résultats obtenus dans les scénarios précédents. Ces scénarios visaient généralement à répondre aux difficultés diagnostiquées lors de la simulation de la situation initiale de l'exploitation.

Ainsi, si l'on prend l'exemple de l'utilisation de Cikedà avec 6 producteurs, nous avons constaté que les agriculteurs et agro-éleveurs cherchaient essentiellement à augmenter leur production d'engrais organique même si les voies considérées différaient d'un producteur à l'autre (introduction associée d'embouche) (Tableau 6). Les deux éleveurs cherchaient eux à augmenter la quantité de fourrage produite par bovin dans la ferme en a) réduisant le nombre d'animaux pour diminuer la demande de fourrage, b) augmentant les capacités de stockage de fourrage, c) introduisant ou augmentant les surfaces en cultures fourragères (*Mucuna deeringiana*).

Tableau 6 Variation des données d'entrée pour les scénarios S0 and S1 et pour les six exploitations analysées [Sempore *et al.*, 2016]

		CF1	CF2	CLF 1	CLF2	LF1
Farms						
Storage capacity of fodder (%)		+100	+567	+300	+80	+355
Capacity of manure pit (%)		+50	+200	0	+36	0
Cotton area (%)		0	0	-32	-21	0
Maize area (%)		+20	0	-7	-25	-50
Sorghum area (%)		-40	0	0	0	0
Extra cowpea area (ha)		0	0	0	0	+0.75
Extra fodder crop (<i>Mucuna deeringiana</i>) area (ha)		+0.5	0	+2	+1	+0.75
Proportion of cereal crop (maize, sorghum) residues harvested (%)		+25	+38	+13	+25	+25
Proportion of secondary crop (cowpea) residues harvested (%)		+100	0	+100	+100	+100
Stored organic manure per ha of maize (%)		+25	+200	+7.2	+82	+50
Number of breeding cattle		0	0	+15	+2	+22
Stored fodder per TLU (kg/TLU)		+880	+1049	+246	+450	+328
Faeces harvesting of traction cattle	R/C/H	Id	Id	Id	Id	Id
Faeces harvesting of cattle	R/C/H	Id	NSN	Id	Id	Id
Faeces harvesting of cattle fattening	R/C/H	Id	Id	NNP	Id	NNS
Purchase of small ruminants		+4	0	0	0	0
Purchase of fattened cattle		0	0	+3	0	0
Sale of breeding cattle		0	0	0	0	+1
Sale of small ruminants		+4	+2	0	0	0
Sale of fattened cattle		0	0	+3	0	+2
Number of traction cattle/breeding cattle/fattened cattle supplemented in hot dry season		0/0/0	0/0/0	0/0/3	0/0/0	0/22/2
NPK spread on maize (kg/ha)		+150	+150	+150	+150	+150
Urea spread on maize (kg/ha)		+100	+100	+100	+100	+100

S₀: Scenario representing the current situation of the farm in terms of crop and livestock production

S₁: Scenario based on the analysis of S₀, aiming to improve farm productivity

CF: Crop farmer; **CLF**: Crop-livestock farmer; **LF**: Livestock farmer;

R: rainy season; **C**: cold dry season; **H**: hot dry season;

S: stockyard; **P**: pit; **N**: nil; **Id**: identical;

NPK: nitrogen, phosphorus, potassium

TLU: Tropical Livestock Units

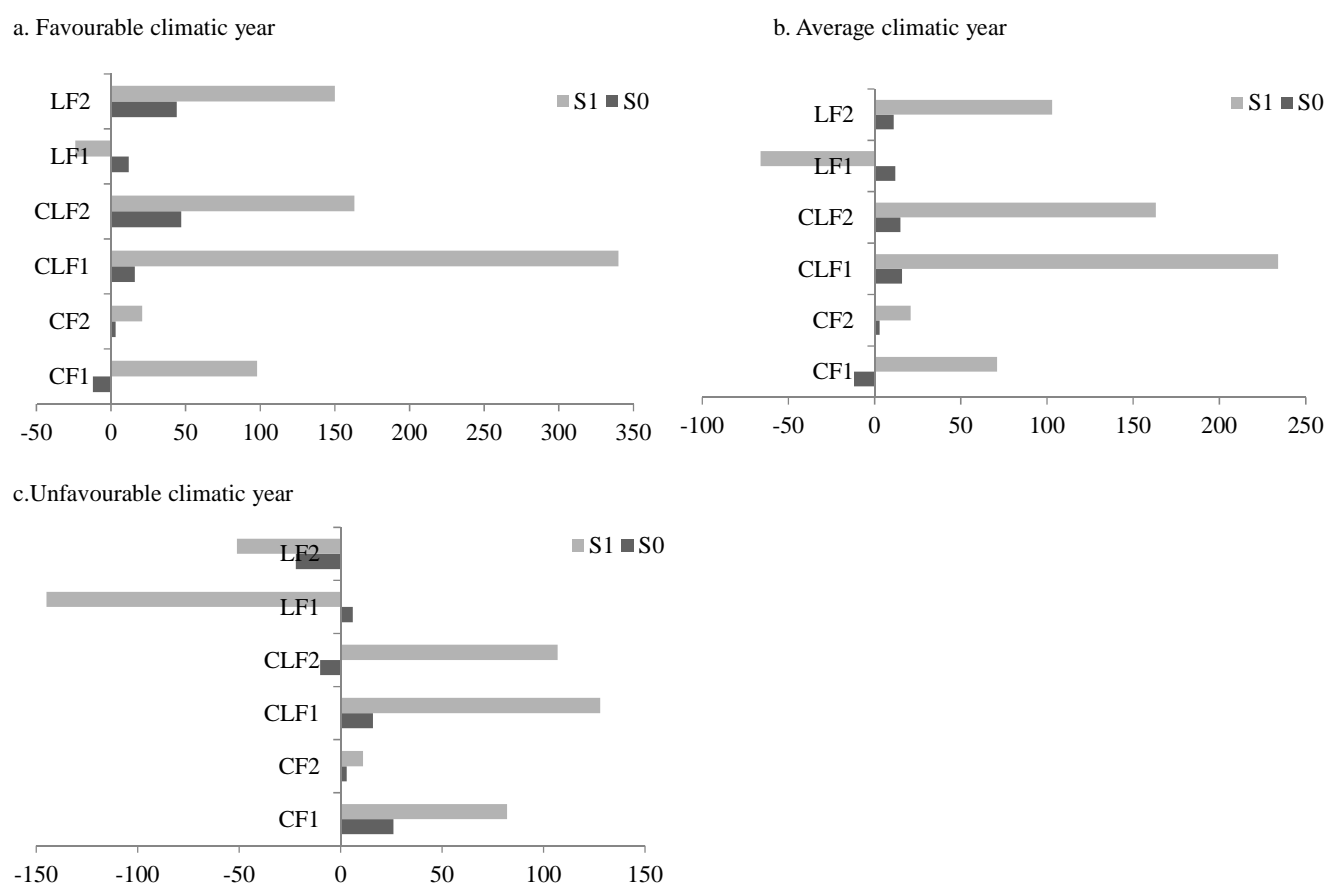


Figure 8: Comparaison du bilan fourrager simulé en S0 et S1 (kg) [Sempore *et al.* 2016]

Les scénarios choisis par les agriculteurs et agro-éleveurs permettaient d'améliorer les équilibres fourragers pour les trois types d'années climatiques simulées (favorable, normale, défavorable) (Figure 8). Ce résultat était lié au choix des producteurs d'augmenter les quantités stockées en introduisant des cultures fourragères. Les excédents de fourrage simulés ont entraîné une augmentation des refus de pailles pouvant être utilisés pour la production de fumure et par conséquent une augmentation de l'engrais organique produit et fourni par hectare de maïs. Ceci s'est traduit par une amélioration du bilan céréalier en particulier en année climatique défavorable, à l'exception d'un des agro-éleveurs qui avait choisi de réduire d'un quart sa surface initiale de maïs. Néanmoins seules 20% des surfaces cultivées de l'exploitation pouvaient être fertilisées avec suffisamment de matière organique pour couvrir les besoins en nutriments des cultures.

Les résultats simulés pour les deux éleveurs étaient contrastés. L'un d'eux a obtenu un déficit fourrager pour les trois types d'années simulées, car l'augmentation des stocks fourragers ou de la superficie dans les cultures fourragères ne couvrait pas l'augmentation des besoins en fourrage induite par la sédentarisation du troupeau qu'il envisageait. De plus, la superficie

réduite en céréales en faveur des cultures fourragères a entraîné une réduction de son bilan céréalier, ce dernier devenant négatif en cas d'année climatique défavorable. L'autre éleveur a pu obtenir un meilleur bilan fourrager et céréalier malgré une plus petite superficie céréalière grâce à sa capacité de stockage de fumier (Figure 8).

La simulation stylisée a ainsi permis d'explorer des alternatives inspirées du diagnostic initial alors que les simulations avec les producteurs ont permis d'atterrir ces propositions en considérant les conditions réelles des agriculteurs.

4.3. Les expérimentations en milieu paysan

Dans le cadre du projet « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage », l'enjeu des expérimentations était principalement de permettre à des producteurs de tester sur le terrain des changements en lien avec les diagnostics et simulations réalisés. Il s'agissait ensuite d'évaluer les modalités d'adoption de ces changements plus que les performances techniques.

Deux types d'expérimentation ont été menées :

- l'amélioration qualitative et quantitative des fourrages ;
- l'amélioration de la fertilité du sol.

Le premier type d'expérimentation avait pour cible les producteurs du type « éleveur » ou « agro-éleveur » souhaitant diversifier leur système de production via l'élevage mais contraints par la disponibilité de la biomasse fourragère.

Le second type ciblait les producteurs du type « agriculteur » souhaitant diversifier leur assolement (cultures céréalières, cultures fourragères) mais contraints par le coût des engrais.

Ces expérimentations devaient s'articuler avec un projet de transformation de l'exploitation (par exemple installation ou renforcement d'un atelier d'embouche) mené par un producteur. Aucun objectif à atteindre n'a été imposé au producteur. En d'autres termes le producteur volontaire à participer à l'expérimentation devait lui-même définir le nombre d'animaux qu'il souhaitait emboucher et les moyens qu'il comptait mobiliser pour y parvenir.

Pour ces deux types d'expérimentation, différentes options techniques ont été expérimentées, les producteurs expérimentateurs ayant la possibilité de tester l'ensemble des options d'un même type d'expérimentation ou seulement certaines d'entre elles. Ces options techniques devaient permettre d'atteindre les objectifs fixés (production fourragères, fertilité des sols) en

limitant l'utilisation d'intrants chimiques, en valorisant les ressources disponibles sur l'exploitation et les interactions entre systèmes de culture et d'élevage.

Chaque type d'expérimentation était alors une combinaison de techniques simples pour plusieurs déjà connues par les producteurs mais jamais mise en œuvre du fait essentiellement de l'absence d'accompagnement.

Le premier type d'expérimentation comportait ainsi trois volets complémentaires :

- l'augmentation des quantités de biomasse récoltées par l'utilisation de presses afin d'augmenter les stocks fourragers ;
- l'amélioration de la qualité des stocks fourragers (culture fourragère) ;
- l'amélioration des conditions de stockage (construction de fenil).

Le second type d'expérimentation comportait quatre volets complémentaires :

- l'augmentation des quantités de résidus récoltées par le travail de groupe afin d'augmenter la production de fumure organique et diminuer les pertes par brulis ;
- la production de fumure organique dans des fosses fumières ;
- le renforcement des bœufs de trait pour le travail d'enfouissement de la matière organique grâce à l'amélioration de la qualité des stocks fourragers (culture fourragère) ;
- la culture de légumineuse servant de fourrage pour les bœufs de trait et permettant d'améliorer la fertilité des sols.



Photo 1: Presse, culture de Mucuna testées avec les producteurs pour améliorer la production fourragère

Les expérimentations ont été menées avec 15 producteurs par village (10 pour l'expérimentation visant à améliorer la fertilité des sols, 5 pour la seconde) en fonction de différents critères :

- dynamisme et sérieux du volontaire ;
- capacité d'accueil de l'équipe technique du projet ;
- expérience préalable dans l'embouche bovine pour les producteurs souhaitant améliorer la production fourragère afin de s'assurer que les producteurs sélectionnés auront la capacité d'acquérir des animaux d'embouche ;
- difficulté à rembourser le crédit coton pour les producteurs souhaitant améliorer la fertilité des sols afin de s'assurer que les producteurs sélectionnés soient réellement contraints pour l'acquisition d'intrants chimiques.

Chaque producteur sélectionné s'engageait à mener l'expérimentation à travers l'acceptation d'un cahier des charges définissant les apports de chaque acteur (tableau 2).

Les producteurs volontaires ont participé à des formations sur l'alimentation des bovins (besoins fourragers, valeur fourragère de différents types d'aliments) et sur la production de fumure organique (matière organique à apporter, durée de décomposition, modalité d'utilisation de la fumure produite).

Pour l'expérimentation des différentes options (tableau 7), le projet a apporté une partie des intrants nécessaires, les producteurs étant chargés d'apporter le complément, cette précaution ayant pour but d'impliquer les producteurs dans l'expérimentation. Par exemple, pour la construction des fosses fumières le projet a apporté 3 sacs de ciment par producteur, ce dernier s'engageant à apporter le reste des matériaux (briques...) ou main d'œuvre (creusage...) nécessaire à la construction.

Un suivi bimensuel a ensuite été réalisé (de décembre 2008 à décembre 2010) au cours duquel les pratiques de conduite des systèmes de culture et des systèmes d'élevage ont été enregistrées. Ce suivi a permis d'accompagner les changements techniques mis en œuvre dans le cadre du projet. En 2011 et 2012 un suivi annuel a été réalisé chez ces producteurs.

Tableau 7 : Producteurs expérimentateurs des différentes options techniques [Sempore *et al.*, 2011]

	Koumbia	Kourouma
Nb volontaires Production fourragère	5	3
<i>Nb ayant construit 1 fenil</i>	5	3
<i>Nb ayant utilisé la presse</i>	4	3
<i>Nb ayant cultivé le Mucuna</i>	5	3
Nb volontaires Fertilité des sols	10	9
<i>Nb ayant construit 1 fosse</i>	9	9
<i>Nb ayant cultivé le Mucuna</i>	9	9
<i>Nb ayant enrichi leur paille à l'urée</i>	3	2

Le tableau 8 présente pour sept des producteurs ayant participé aux expérimentations visant à augmenter la production fourragère, les pratiques initiales des exploitations en 2008 (date de début du projet) et celles mises en œuvre de 2009 à 2012, les simulations ayant eu lieu en 2009.

En 2008, l'embouche était pratiquée par trois des sept producteurs de l'échantillon de l'étude et les cultures fourragères chez seulement un producteur (tableau 8). On constate que l'effectif d'animaux d'embouche a atteint un pic en 2009 du fait en particulier des deux producteurs pratiquant déjà l'embouche avant le début du projet et qui ont choisi cette année-là de commercialiser leurs animaux sur le marché ivoirien pour répondre à une forte demande. Cette pratique a continué en 2010 chez les sept producteurs mais avec une tendance à la diminution du nombre de boeufs d'embouche. Deux producteurs ont augmenté la surface de culture en *Mucuna* en 2010. En 2011 et 2012 des abandons de cette activité, qualifiés de ponctuels car liés à des problèmes de main d'œuvre et de trésorerie, ont été constatés chez trois producteurs (1, 4 et 5).

Tableau 8: Evolution du nombre d'animaux embouchés et des surfaces fourragères au sein d'un réseau d'expérimentateurs de la démarche de co-conception de 2008 à 2012 [Sempore *et al.*, 2011]

Exploitations		1	2	3	4	5	6	7
2008	Animaux embouchés	10	0	2	0	8	0	0
	et surfaces fourragères (ha)	0	0	0,25	0	0	0	0
2009	Animaux embouchés	75	5	3	2	32	2	10
	et surfaces fourragères (ha)	0,5	0,25	1	0,25	0,5	1	0
2010	Animaux embouchés	54	3	2	3	8	2	4
	et surfaces fourragères (ha)	0,5	0,5	1	0,25	0	6,75	0
2011	Animaux embouchés	0	2	4	0	5	10	4
	et surfaces fourragères (ha)	0	0,5	1	0	0,5	3	0
2012	Animaux embouchés	2	2	9	0	0	2	5
	et surfaces fourragères (ha)	0,5	0,25	1	0	0,5	3	0

Dans le cadre du projet ABACO, les essais en milieu paysan ont eu lieu de 2013 à 2015 et ont mobilisé une démarche similaire à celle du projet précédent basée sur des formations (sur les principes de l'agriculture de conservation, sur l'utilisation de la canne planteuse et du semoir brésilien), la définition avec les producteurs de cahier des charges et protocoles, les simulations pour certains (modèle Cikedra adapté pour tenir compte des systèmes de cultures basés sur les principes de l'agriculture de conservation), les essais au champ et une restitution discussion en plénière en fin de campagne [Djamen *et al.*, 2015 ; Dabire *et al.*, 2017].



Photo 2: Essai de canne planteuse pour le semis direct

Différents systèmes de culture ont été testés d'une zone agropastorale à l'autre (focus plus important sur le sorgho en zone soudano-sahélienne par exemple) mais aussi d'un type de producteur à l'autre (association avec une culture fourragère chez les producteurs possédant des animaux versus une légumineuse pour l'alimentation familiale pour les autres) et enfin d'une année sur l'autre compte tenu des résultats obtenus l'année précédente. Ainsi, si à Koumbia la première année c'est le système de culture associant le sorgho au pois d'angle qui a été sélectionné par les producteurs membres de la plateforme d'innovation pour les expérimentateurs puis testé, ses résultats décevants se sont traduits l'année d'après par la sélection d'un système de culture basé sur l'association maïs-niébé.

Pour ces essais, d'une manière générale, pour chaque producteur le dispositif expérimental était composé d'un système de culture basé sur les principes de l'agriculture de conservation comparé à un système de culture conventionnel. Le projet apportait les intrants nécessaires tandis que le producteur choisissait une de ses parcelles et s'engageait à réaliser l'itinéraire technique validé collectivement. Le semoir brésilien a été testé plus spécifiquement à Koumbia

compte tenu du fait que dans cette zone, la traction animale est largement développée. Pour ce qui est de la couverture du sol, les producteurs s'engageaient à ramasser le maximum de paille possible sans qu'un seuil ne leur soit fixé. D'une manière générale, les tests réalisés chez les paysans montrent que les producteurs ont pu réunir des quantités de paille allant de 2 à plus de 4 t/ha. Ces taux de couverture du sol permettent de contrôler l'érosion et limiter l'évaporation, mais s'avèrent insuffisants pour affecter significativement la levée des mauvaises herbes et rendent plus difficile le sarclage (pas de mécanisation possible, gêne du sarclage manuel). Les rendements des systèmes AC en zone soudano-sahélienne étaient généralement améliorés par rapport aux systèmes conventionnels du fait d'une meilleure infiltration de l'eau dans le sol et d'une moindre évaporation dues au paillage (Tableau 9). Par contre à Koumbia situé en zone soudanienne et où la contrainte hydrique est moindre, les rendements avaient tendance à diminuer comparés au système de culture conventionnel. Cette baisse de rendement était probablement due à la compétition entre cultures associées (maïs, niébé) pour les nutriments ou les mauvaises herbes, mais avec des différences entre producteurs. Ainsi les producteurs ayant le mieux respecté les itinéraires techniques négociés collectivement ont pu obtenir des rendements équivalents à ceux de la culture conventionnelle. En zone soudano-sahélienne, la productivité du travail est plus faible qu'en zone soudanienne du fait de l'augmentation des temps travaux car les producteurs n'utilisent pas d'herbicides contrairement à Koumbia où les producteurs ont facilement accès aux herbicides via la société cotonnière.

Tableau 9: Comparaison des performances des systèmes conventionnels et ceux basés sur les principes de l'agriculture de conservation (CA) à Yilou, Sindri et Koumbia [Dabire *et al.*, 2017]

Variables	Sahelian-Sudanian (n=38)		Sudanian (n=20)	
	Conventional System	CA System	Conventional system	CA system
pH _{water}	7.11 ^a	7.45 ^a	5.58 ^a	5.97 ^b
Soil Organic Carbon (g/kg)	0.64 ^a	1.07 ^b	0.51 ^a	0.54 ^b
Cereal Grain yield (kg/ha)	1,408 ^a	2,159 ^b	1,956 ^a	1,252 ^b
Cereal Straw yield (kg/ha)	2,455 ^a	3,882 ^b	2,165 ^a	1,505 ^b
Labour (Man day/ha)	56 ^a	81 ^b	33 ^a	32 ^a
Gross margin (FCFA/ha)	182,127 ^a	418,345 ^b	166,121 ^a	149,232 ^b
Work productivity (FCA/Man)	2,260 ^a	5,139 ^b	11,087 ^a	10,497 ^b

Different superscript letters (a, b) per village indicate significant differences (Newman and Keuls' test at $P < 0.05$) in the mean value

4.4. Evaluation avec les acteurs de la démarche et des outils

Dans le cadre du projet « Modélisation et gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage », nous avons évalué les perceptions des producteurs sur les différents outils utilisés.

L'utilisation de l'outil pour évaluer différents changements tactiques pour la prochaine saison de culture a sensibilisé les producteurs sur la nécessité de mieux planifier ainsi que sur les modes de gestion de la fumure organique et de l'alimentation fourragère [Sempore *et al.*, 2015]. Ainsi par exemple, l'un des agro-éleveurs ayant testé l'outil Cikeda a reconnu la nécessité de se préparer pour la campagne d'embouche non pas, comme il avait l'habitude de le faire, une fois la saison de récolte terminée, mais avant qu'elle débute pour décider de la taille de la sole fourragère et les stocks de résidus à réaliser. Les agriculteurs et agro-éleveurs ont considéré que leurs connaissances sur la production d'engrais et la fertilisation des cultures avaient été améliorées de même que leur capacité d'évaluation des quantités de résidus à récolter pour répondre aux besoins des animaux et limiter leur dépendance au tourteau de coton qui s'est traduite par une augmentation des stocks d'engrais organiques et/ou des doses d'engrais minéraux par rapport aux pratiques initiales (Figure 9).

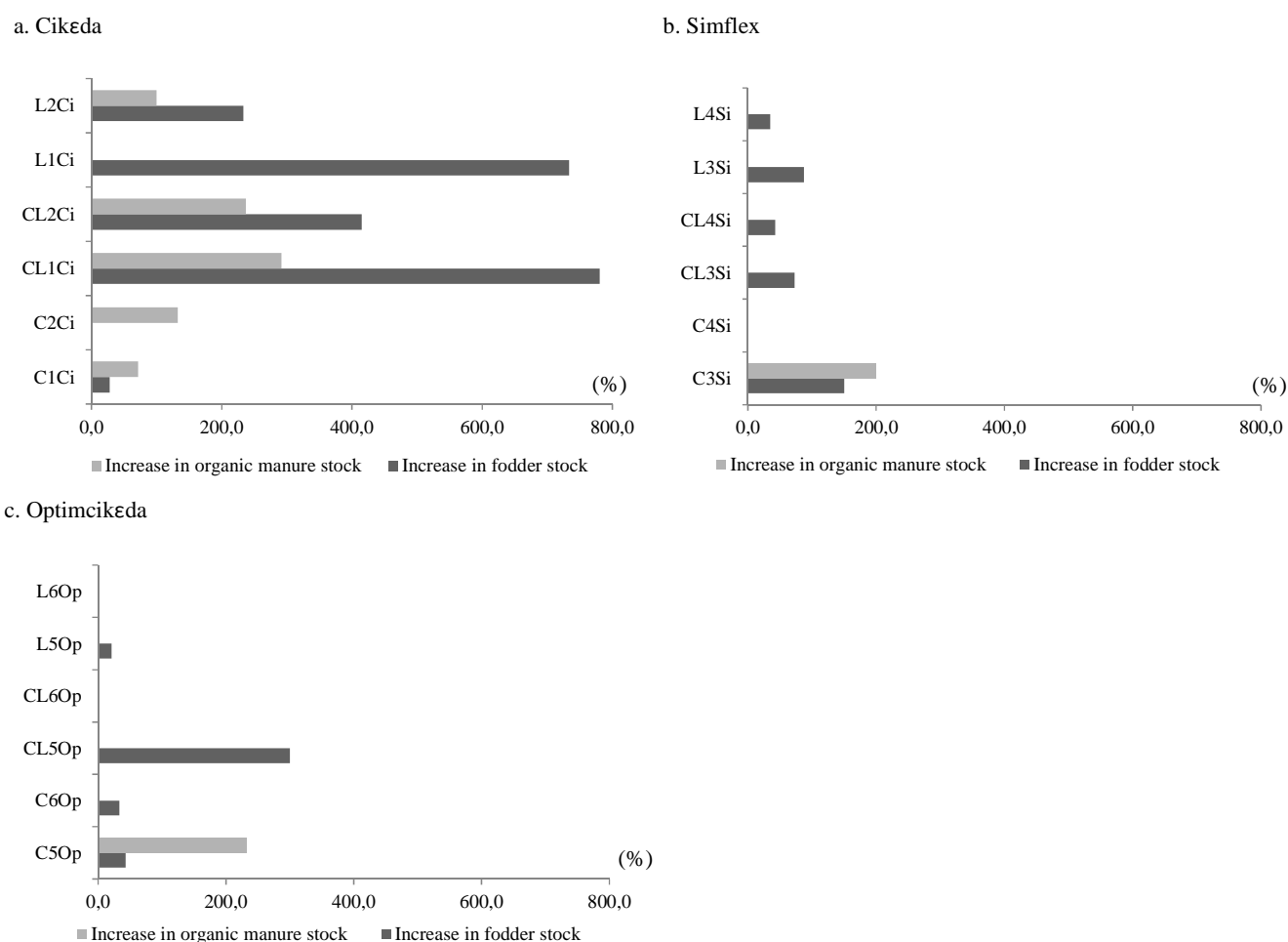


Figure 9: Production de fourrage et de fumure organique mesurée après le processus d’accompagnement des agriculteurs avec chacun des outils (% de la valeur initiale).

L’utilisation de Cikeda spécifiquement pour appuyer la prise de décision stratégique d’un sous-groupe de 11 producteurs (6 producteurs de Koumbia, 7 à Kourouma) a permis aux paysans d’évaluer ex-ante et de façon systémique différents plans pour leurs systèmes de culture et d’élevage avant de les tester en vraie grandeur, et de sélectionner les options utiles et réalisables à court terme [Sempore *et al.* 2011 ; Sempore *et al.*, 2016]. La co-conception et la simulation des stratégies alternatives ont conduit à une évolution rapide des pratiques de gestion en matière de la fertilité des sols et de l’alimentation des animaux chez les 11 producteurs ayant testé la démarche entre 2009 et 2013. Ces changements ont été favorisés par une meilleure perception par les producteurs des flux de biomasse fourragère et de fumure entre les systèmes de cultures et d’élevage sur leurs fermes. La représentation et la quantification de ces flux ont joué un rôle dans l’évolution des connaissances et perceptions des producteurs.

Dans le cadre de la démarche ABACO une évaluation spécifique a été menée sur le rôle de la plateforme d’innovation en tant que lieu d’échange entre les partenaires d’une recherche action

en partenariat [Dabire *et al.*, 2017]. Différents indicateurs de suivi ont été mobilisés pour caractériser les résultats de la plateforme pour favoriser les connaissances, pratiques et mise en réseau des acteurs impliqués dans la recherche.

Nous avons pu mettre en évidence une amélioration des connaissances et perceptions des producteurs sur l'intérêt des résidus de culture et plus globalement sur l'agriculture de conservation peu connue, en opposition avec les systèmes de culture promus par les structures de recherche-développement dans la région. Ce changement de perception s'est traduit par des modifications de pratiques (Figure 10). Un début de processus d'adoption de ces systèmes innovants a été observé dans l'un des sites d'étude en zone soudano-sahélienne, où des résultats positifs avaient été mesurés sur les rendements. En zone soudanienne la diminution observée des rendements comparés au système de culture conventionnel interroge sur la pertinence de l'agriculture de conservation dans ce contexte même si nos travaux de simulation montrent que l'effet positif de l'agriculture de conservation s'observe après 7 à 8 ans [voir Corbeels *et al.*, 2014, travaux non présentés ici]. La démarche ABACO a aussi permis d'améliorer les connexions entre les producteurs et leur environnement institutionnel proche (agents techniques, ONG, recherche), de définir de nouvelles règles d'accès aux résidus de culture à l'échelle villageoise et d'amorcer une réflexion sur les chartes foncières comme outil de gouvernance.

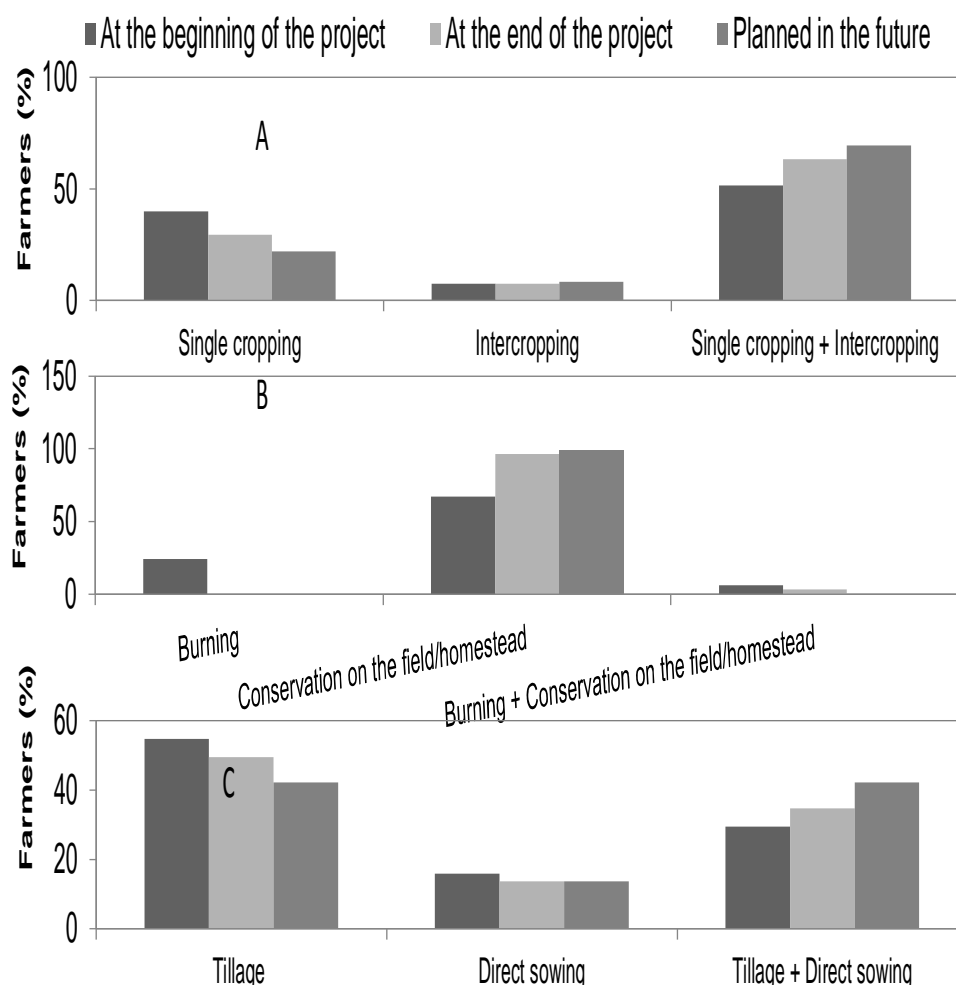


Figure 10: Changement de pratiques par les membres des plateformes à Koumbia, Yilou et Sindri: A: mode de culture, B : gestion des résidus de culture pour la couverture du sol, C: travail du sol [Dabire *et al.*, 2017]

4.5. Conclusion partielle

Les travaux menés en zone agropastorale du Burkina Faso ont permis de mettre en application et de mieux comprendre le rôle que peuvent jouer les dispositifs de recherche en partenariat et en particulier les plateformes d'innovation au sein des démarches de co-conception de systèmes de production innovants. Ces plateformes d'innovation impliquant le plus souvent d'après la littérature des acteurs des chaînes de valeur (Devaux *et al.*, 2009, Tenywa *et al.*, 2011). Elles ont ici été utilisées comme des lieux virtuels d'échanges entre une diversité d'acteurs locaux ayant un rôle à jouer dans l'accès aux résidus de culture. Il a aussi été possible de mieux comprendre le rôle de la modélisation dans ces démarches. A l'instar d'autres travaux nous avons montré l'importance de la modélisation comme outil d'exploration de scénarios avec les acteurs (Berthet *et al.*, 2015 ; Moraine *et al.*, 2016). Nous avons en particulier montré que des bilans simples entre offre et demande de ressources (de fourrages, de céréales, de résidus...) avaient plus de sens pour les agriculteurs pour représenter le fonctionnement de l'exploitation.

Cette démarche a permis de co-concevoir des systèmes innovants basés sur l'introduction de pratiques agroécologiques qui nécessitent un réajustement de l'ensemble des sous-systèmes de l'exploitation. Nous avons montré que ces systèmes basés sur une transformation des pratiques de gestion des résidus de culture pour produire du compost ou pour la couverture du sol augmentent durablement la productivité à condition d'être attentifs aux effets sur les autres utilisateurs de ces résidus de culture à l'échelle du territoire villageois. Cette démarche de co-conception a favorisé la production de connaissances opérationnelles avec une amélioration des connaissances et pratiques des producteurs en matière de gestion des résidus de culture.

Cette démarche a également permis de produire des connaissances scientifiques (sur les systèmes et la démarche) avec 15 articles publiés dans des revues à FI.

Deux limites principales peuvent néanmoins être relevées dans notre démarche. Premièrement le fait que ces plateformes soient fortement portées par la recherche interrogeant sur la durabilité des changements techniques et organisationnels impulsés au-delà de la durée de vie des projets de recherche. Deuxièmement, si les travaux ont favorisé des changements techniques et organisationnels au sein des acteurs impliqués dans la recherche, se posait la question des leviers à mobiliser pour favoriser un changement d'échelle impliquant une réflexion plus approfondie du lien entre ces changements et des différentes dimensions du paysage institutionnel, politique, environnemental (Wigboldus *et al.*, 2016). Cela implique de mieux caractériser les impacts environnementaux locaux et globaux des changements testés, les réseaux socio-techniques au-delà de ceux impliqués dans les plateformes d'innovation en décrivant l'influence que peut avoir l'environnement institutionnel et politique sur les changements techniques co-conçus mais aussi les changements à opérer au sein de cet environnement.

Dans la section suivante nous montrons comment la démarche de co-conception a été mise en œuvre avec différents acteurs pour aborder plus spécifiquement la question du changement climatique.

5. Résultats produits sur la co-conception de systèmes de production climato-intelligents

Compte tenu du mandat international du CIAT, les travaux ont été menés sur différents terrains, situés pour la plupart en Colombie et Honduras.

L'indice de risque climatique global, qui analyse les impacts (pertes en vie humaines, pertes économiques) des phénomènes climatiques extrêmes, a identifié le Honduras comme l'un des trois pays les plus vulnérables au changement climatique entre 1996 et 2015 (Germanwatch, 2017). Les scénarios prévoient des conditions encore plus défavorables pour la production agricole qui rendront la culture du maïs, des haricots et du café impossible dans de nombreuses régions (Bouroncle *et al.*, 2015). En Colombie, les scénarios climatiques futurs suggèrent une augmentation des événements extrêmes en fréquence et en intensité (IDEAM, 2015). De tels changements climatiques pourraient également entraîner une réduction des rendements des cultures de subsistance (maïs, haricots, manioc et plantain) et des cultures commerciales, telles que le café et le cacao (CIAT, 2013).

En Colombie, le site choisi est le terrain d'étude du programme transversal des CGIAR en Colombie (Climate Smart Village (CSV) du Cauca) où la recherche en partenariat entre le CIAT, une ONG, des groupements de producteurs de café ainsi qu'une série d'associations en charge de la commercialisation des produits ont défini des plans locaux d'adaptation au climat. Au Honduras, le site choisi est le bassin versant de Puca. Dans cette zone la plupart des agriculteurs font partie de comités de recherche locaux qui sont des espaces où les capacités d'expérimentation de changements techniques des agriculteurs sont renforcées (Classen *et al.*, 2008) avec l'appui d'une ONG appelée FIPAH (Fundación para la Investigación Participativa con Agricultores de Honduras).

Dans ces zones les producteurs cultivent des surfaces généralement inférieures à 5 ha, dominées par le café. L'élevage est peu présent.

Ces travaux (en particulier ceux liées à la question 4 de recherche présentée dans la section 2) ont également été menés au Guatemala (aussi fortement marqué par des sécheresses prolongées au sein du « couloir sec ») ou au Mali. Il s'agissait plus spécifiquement dans ces deux pays de proposer aux décideurs politiques (en particulier ministère de l'agriculture au Guatemala, Agence de l'Environnement et du Développement Durable AEDD au Mali) des démarches et outils pour les aider à prioriser leurs investissements en matière d'agriculture climato-

intelligente. Ces travaux permettent alors d'alimenter la réflexion sur la façon d'articuler des dynamiques locales et nationales, les changements techniques chez les producteurs avec les changements institutionnels.

5.1. Diagnostic sur les connaissances et stratégies actuelles des producteurs pour faire face au CC

Nous avons pu mettre en évidence trois types de producteurs que nous avons nommés « passifs », « actifs » et « sceptiques ». Les passifs pensent que le CC existe et aura des conséquences sur leur exploitation mais ne mettent pas en œuvre de stratégie d'adaptation. Les actifs correspondent à des producteurs faisant partie d'un groupement et mettent en œuvre des stratégies d'adaptation. Les sceptiques correspondent principalement à des femmes ne croient pas au CC et ne mettent pas en œuvre de stratégie d'adaptation (Figure 11).

Nous avons montré que ces trois types recevaient les mêmes messages techniques mais que la proportion de producteurs adoptant des techniques pouvant leur permettre de faire face au CC était plus élevée chez les actifs que chez les deux autres types bien que les motivations pour adopter ces techniques soient plutôt l'amélioration de leur sécurité alimentaire, de leur revenu ou de la fertilité des sols.

Nous avons conclu que les caractéristiques sociaux-techniques des producteurs jouent effectivement un rôle sur leur perception sur le CC mais aussi sur leur capacité à valoriser l'information reçue au sein d'un paysage institutionnel donné leur permettant d'implémenter des techniques utiles pour faire face au CC même si ce dernier n'est pas un déterminant fort pour des changements de techniques.

Cette analyse des perceptions et stratégies initiales des producteurs face au CC a permis d'identifier une diversité de modes d'action à envisager pour accompagner des producteurs :

- S'appuyer davantage sur les institutions locales existantes à intégrer au sein des plateformes d'innovation mais en veillant à s'assurer de la cohérence des messages délivrés autour des pratiques et du CC ;
- Renforcer les actions de formation pour les producteurs « passifs » ;
- S'appuyer sur les réseaux familiaux dans le cas des producteurs « sceptiques ».

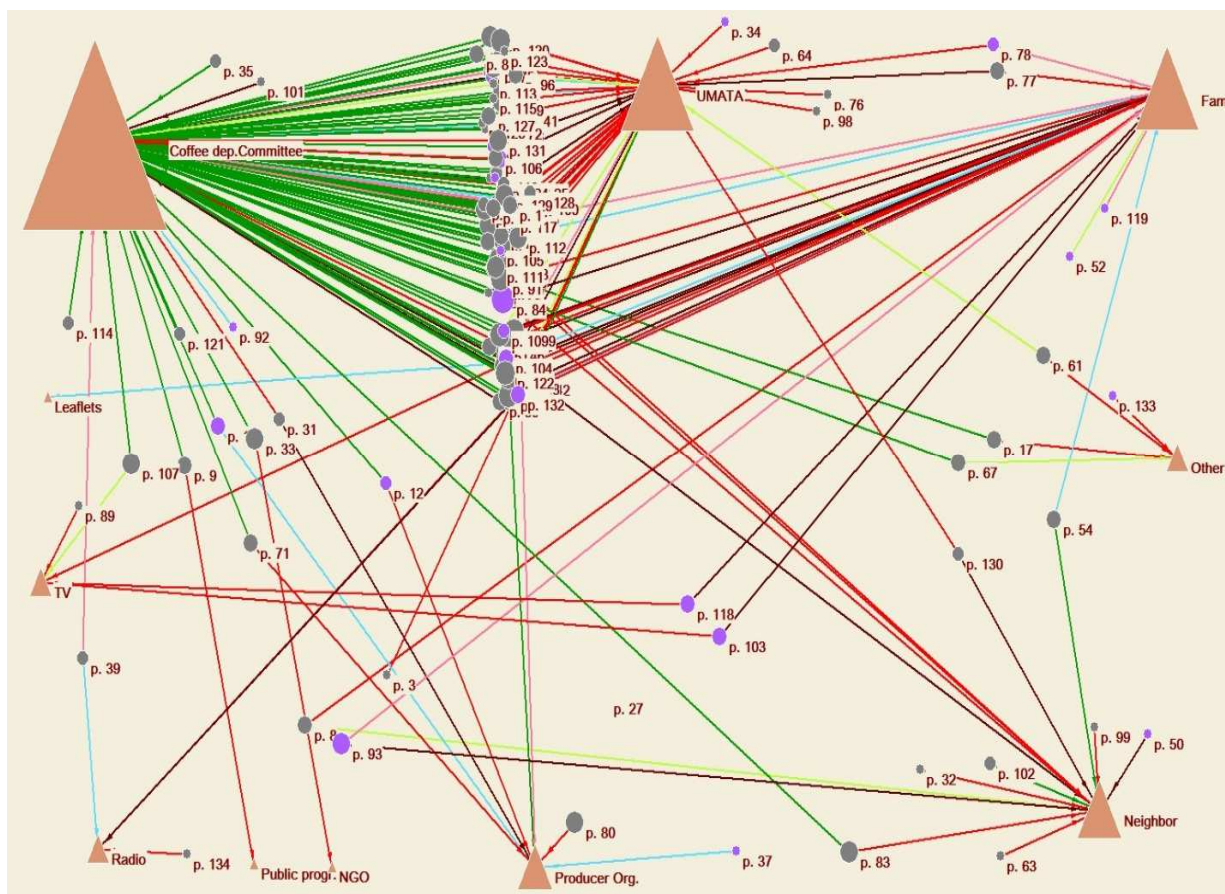


Figure 11: Analyse des réseaux sociaux réalisée pour les producteurs dits "sceptiques"(adapté de Howland *et al.*, submitted)

5.2. Analyse des compromis entre les piliers de l'agriculture climato-intelligente

Dans les travaux menés en Colombie et au Honduras, les systèmes de production dominants étaient plutôt des systèmes de polyculture avec comme culture principale le café. L'enjeu était d'identifier avec les acteurs des solutions basées sur la diversification du système de production, la conservation des ressources en eau ou la substitution des engrais chimiques par des engrais organiques pour articuler des enjeux de réduction des émissions de gaz à effet de serre, d'adaptation au changement climatique et de sécurité alimentaire.

Les producteurs du site d'étude de Colombie ont priorisé une diversité de changements techniques pour limiter leur vulnérabilité face à la variabilité et au changement climatique. Pour des exploitations faiblement diversifiées et se caractérisant par leur orientation vers les cultures de rente (café canne à sucre), l'un des changements testés est la diversification de l'exploitation via l'introduction de jardins potagers. Ces potagers sont associés à un système de captation et stockage de l'eau de pluie et dans certains cas à la production et l'utilisation de compost. Certains producteurs ont également choisi d'introduire des réservoirs d'eau pour irriguer leurs cultures ou leurs pâturages. Il s'agissait au Honduras de tester des variétés de maïs, sorgho et

haricot résistantes à la sécheresse, ou de panneaux solaires pour favoriser le séchage et la transformation des produits agricoles en « tortillas ».

L'outil CSA calculator a été utilisé avec les producteurs pour leur permettre d'évaluer les effets des changements techniques qu'ils avaient priorisés (compost, jardins potagers associés à des réservoirs) mais aussi les effets de d'autres changements techniques et organisationnels (ajustements de l'assolement et des intrants minéraux) en considérant en particulier un scénario pessimiste basé sur une baisse des rendements.

Il a montré la nécessité de penser non seulement aux synergies entre les trois dimensions du concept CSA mais aussi les synergies entre techniques existantes et nouvelles et d'analyser les ajustements associés à leur introduction. L'exercice de simulation a en effet montré que l'introduction de mêmes techniques se traduisaient par des performances contrastées d'une exploitation à l'autre du fait par exemple du souhait de réinvestir le revenu généré par l'introduction de jardins potagers dans l'achat de plus d'engrais minéraux sur le café chez certains producteurs (exemple de l'exploitation 1 figure 12). Il a aussi mis en évidence que les changements priorisés par les producteurs visaient essentiellement à améliorer la productivité et l'adaptation et seulement dans certains cas à la mitigation (lorsque les engrais minéraux sont substitués par de l'engrais organique).

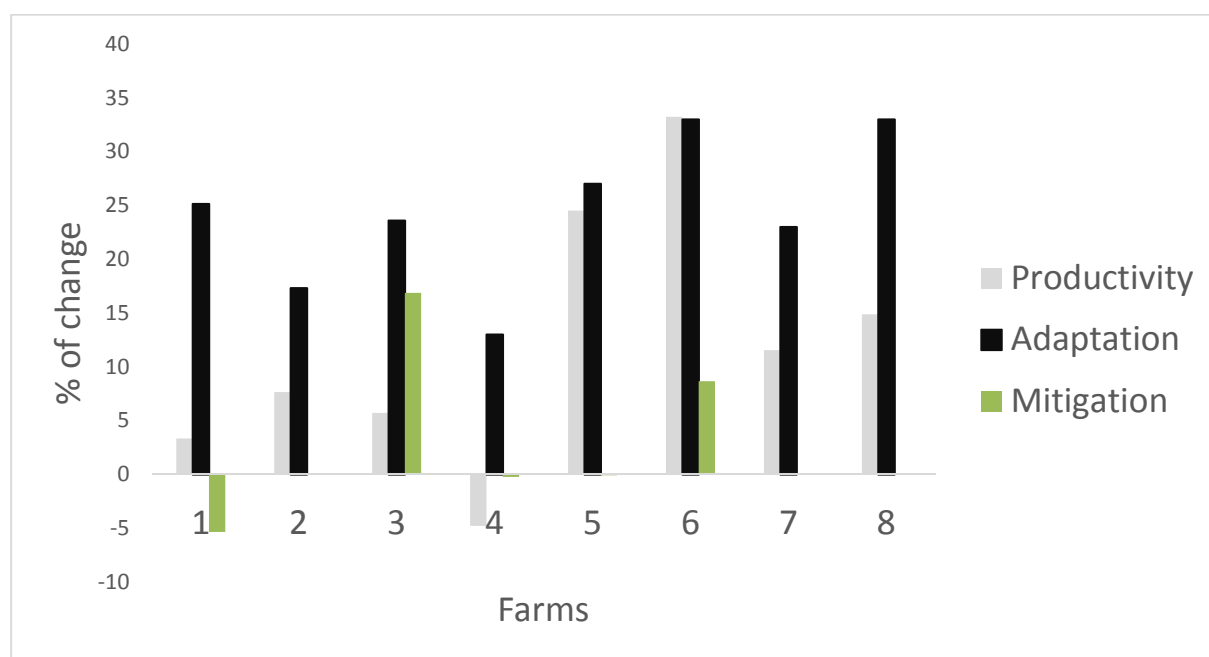


Figure 12: Performances relatives de l'exploitation selon les piliers de l'agriculture climato-intelligente après l'introduction d'un portefeuille de pratique [Osorio *et al.*, submitted]

Cet outil systémique à l'échelle de l'exploitation a été apprécié par les collègues de CCAFS et est désormais intégré à un exercice global visant à suivre annuellement les performances des

exploitations dans le cadre des 36 sites pilotes ou « climate smart villages » du programme transversal CCAFS. La collecte des données se fait dans ce cadre via des smartphones reliés à une plateforme appelée geofarmer qui permet la génération automatique de bases de données. L'analyse des données est également automatisée. La perspective est de pouvoir comparer une diversité de situation dans ces différents sites.

5.3. Expérimentation en milieu paysan

Le but de cette phase était de tester et d'adapter les solutions techniques priorisées et simulées aux conditions réelles de la ferme. Les agriculteurs expérimentaux étaient des membres volontaires de la plateforme. Vingt agriculteurs ont été sélectionnés dans chacun des sites de Colombie et du Honduras. Les agriculteurs ont accepté d'affecter une parcelle de terrain et leur travail à l'expérimentation, tandis que l'équipe technique a participé en achetant les intrants nécessaires (variétés résistantes à la sécheresse, systèmes d'irrigation goutte à goutte).



Photo 3 : Essais de variétés de haricots résistantes à la sécheresse

Cette phase avait pour objectif supplémentaire de comprendre les caractéristiques des exploitations où des synergies entre les trois dimensions du concept CSA ont été observées. Le dispositif expérimental relativement classique comportait une parcelle expérimentale et parcelle témoin dans le cas des variétés améliorées (Figure 13).

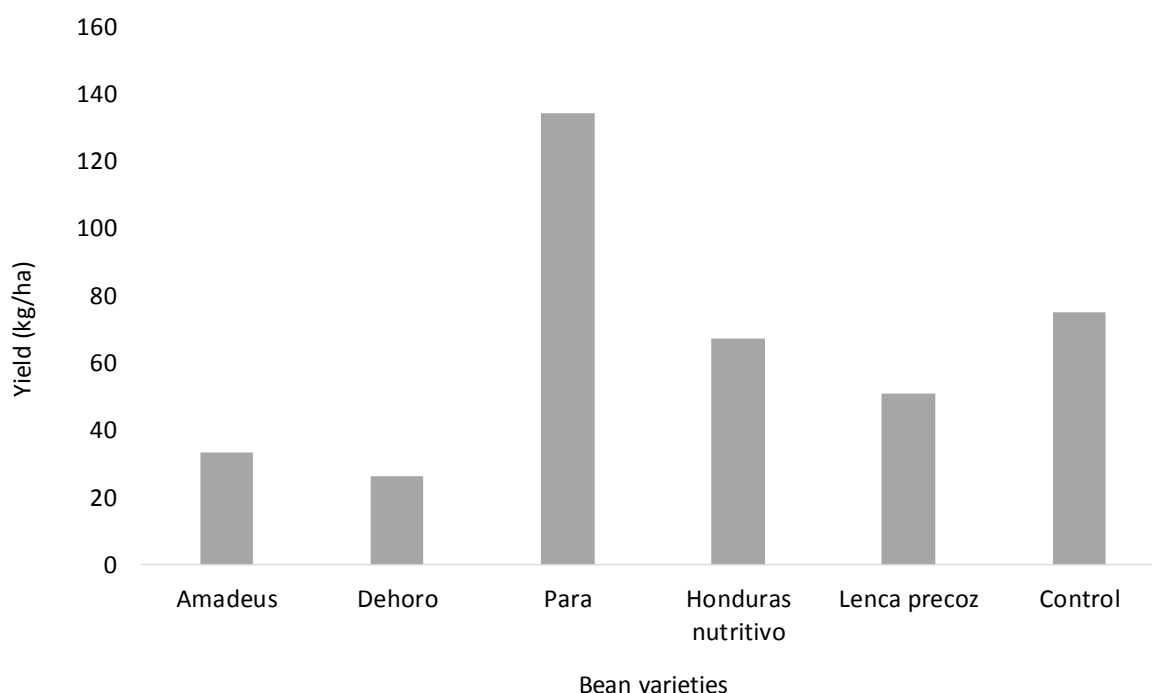


Figure 13: Rendement obtenu pour les variétés résistantes à la sécheresse testées au Honduras

Dans les autres cas, introduction de panneaux solaires, introduction d'un jardin potager (combiné à l'irrigation et au compost) au sein de l'exploitation, des indicateurs tels que l'achat d'aliments sur le marché avant et après l'introduction de la technique ont été considérés.

L'idée était de prendre en compte des facteurs qui n'étaient pas inclus dans les phases précédentes, mais qui peuvent être des facteurs clés dans le processus d'adoption, tels que le temps réel requis pour appliquer une telle pratique et sa gestion. Par exemple, dans le cas du Honduras, l'une des variétés de maïs testées était beaucoup plus sensible aux infections fongiques après des pluies abondantes avant les récoltes.

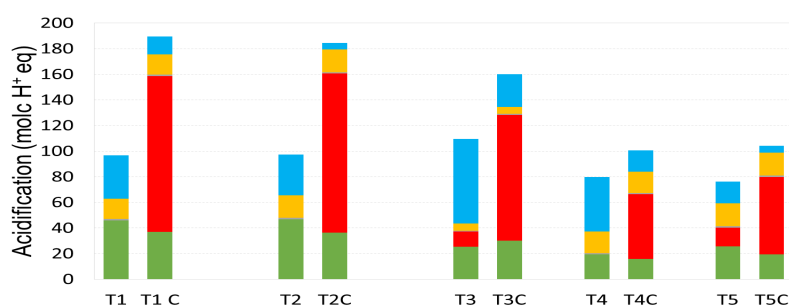
5.4. Evaluation de la démarche

5.4.1. Evaluation environnementale

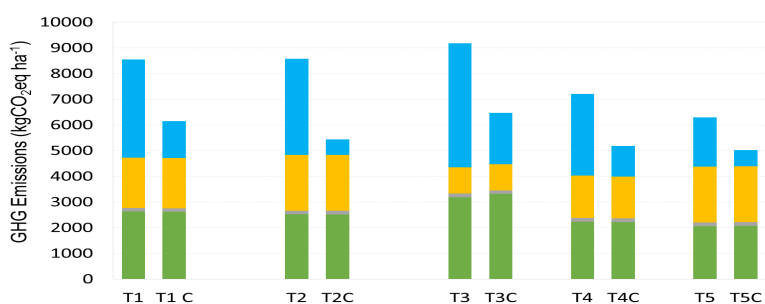
L'analyse des tensions et synergies entre piliers de l'agriculture climate-intelligente suite à l'introduction d'un changement technique au sein de l'exploitation a été approfondie avec l'outil LCA4CSA [Acosta-Alba *et al.*, 2019]. Cet outil basé sur l'analyse de cycle de vie (ACV) a permis non seulement d'analyser les tensions et synergies entre piliers mais aussi d'analyser les étapes du processus de production ou transformation responsables de ces tensions ou synergies. L'évaluation réalisée à partir de cet outil a ainsi permis de quantifier le gain potentiel de mitigation lié à l'utilisation de compost (entre 22 et 35%) pour différents types d'exploitations de la zone d'étude. Toutefois, elle montre que des transferts de pollution existent

entre catégories d'impact, en particulier entre les indicateurs changement climatique, acidification et eutrophisation terrestre (Figure 14). L'évaluation montre également que les exploitations présentant des ateliers animaux limiteraient davantage leurs émissions en modifiant l'alimentation de leurs animaux du fait des quantités importantes de céréales importées. Le potentiel de mitigation permis par le compost ne représente que 3% pour ces exploitations. Cet article montre l'intérêt de l'utilisation de l'approche de cycle de vie qui peut servir à alimenter la discussion des acteurs autour de l'implémentation des pratiques CSA et d'une agriculture plus durable. Ce cadre méthodologique est beaucoup plus exigeant en données de base (inventaire de l'ensemble des intrants utilisés pour les différents sous-systèmes de production) et donc plus difficilement mobilisable par les acteurs de terrain que l'outil précédent (CSA calculator) mais il permet une analyse plus holistique dépassant les frontières de l'exploitation.

■ On field emissions ■ Compost fabrication ■ Mechanical weeding
■ Transformation (energy) ■ Off farm



14b. Climate change potential from GHG emissions from main processes of coffee production



14a. Acidification potential from main processes of coffee production

Figure 14: Analyse à l'échelle du système de culture café (année productive), des principales contributions au (a) au changement climatique, (b) à l'acidification, pour le scénario de base (T) et celui avec introduction de compost (TC) pour les 5 types d'exploitations rencontrées dans le site d'étude [Acosta Alba *et al.*, 2019].

5.4.2. Evaluation de la démarche et des outils avec les acteurs

Cette évaluation a porté plus spécifiquement sur la pertinence des plateformes d'innovation, au cœur de notre démarche de co-conception, en analysant les interactions entre les acteurs de la plateforme, la place des outils prospectifs comme outils de facilitation, les bénéfices pour les acteurs de ce type de dispositifs (Osorio *et al.* under revision).

Pour répondre à cette question différents indicateurs ont été développés pour caractériser :

- le mode d'interaction entre acteurs de la plateforme (interactions entre acteurs,...) ;
- les bénéfices engendrés par la plateforme en termes :
 - o d'évolution des connaissances des producteurs sur ce qu'est le CC et les défis associés ;
 - o d'évolution de l'adoption des changements climato-intelligentes.

Ces travaux ont montré une évolution favorable des connaissances des producteurs sur différents concepts tels que CC, variabilité climatique mais surtout une meilleure compréhension de l'incertitude associée et de la nécessité de planifier (tableau 10).

Tableau 10: Analyse de variance et moyennes obtenues pour les 9 connaissances évaluées

Tipo*Estado	CLIMA	TIEMPO	EVENTOS	CC	F. NIÑA	F. NIÑO	P. PREDIAL	VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
Definición, Inicial	4,0 ^B	4,7 ^A	6,76 ^B	4,7 ^B	8,3 ^B	8,0 ^B	7,3 ^A	6,0 ^C	6,4 ^A
Definición, Final	6,0 ^A	6,0 ^A	9,08 ^A	7,3 ^A	9,9 ^A	9,9 ^A	7,3 ^A	8,8 ^A	6,1 ^A
Encuesta, Inicial	6,6 ^A	6,1 ^A	3,88 ^C	6,6 ^A	6,7 ^C	6,1 ^C	6,0 ^A	6,5 ^{BC}	5,7 ^A
Encuesta, Final	7,0 ^A	5,8 ^A	5,62 ^{BC}	7,3 ^A	7,2 ^{BC}	7,2 ^{BC}	6,3 ^A	7,5 ^{AB}	6,5 ^A
F	10,9	1,99	21,06	6,96	11,34	10,79	2,36	11,2	0,66
P	P<0,0001	P=0,1193	P<0,0001	P<0,0002	P<0,0001	P<0,0001	P=0,0757	P<0,0001	P=0,5777

Los superíndices indican comparaciones pareadas de Tukey entre Interacciones; las medias con la misma letra no difieren significativamente (p<0.05)

Ils ont aussi montré une dynamique d'adoption des changements techniques testés par les producteurs faisant partie de ces plateformes puisque ces producteurs investissent leurs propres ressources financières pour introduire ces changements au sein de leur exploitation (Figure 15). Néanmoins, les motivations de ces producteurs sont essentiellement en lien avec le premier pilier du concept d'agriculture climato-intelligente (productivité pour améliorer en particulier la sécurité alimentaire) (Figure 16). Cela signifie que la porte d'entrée pour promouvoir des changements climato-intelligents est ce premier pilier en lien avec des préoccupations de court terme des producteurs. Cela implique également de se doter d'outils tels que ceux présentés dans la section précédente pour analyser les bénéfices des changements sur les autres dimensions du concept à savoir l'adaptation ou la mitigation.

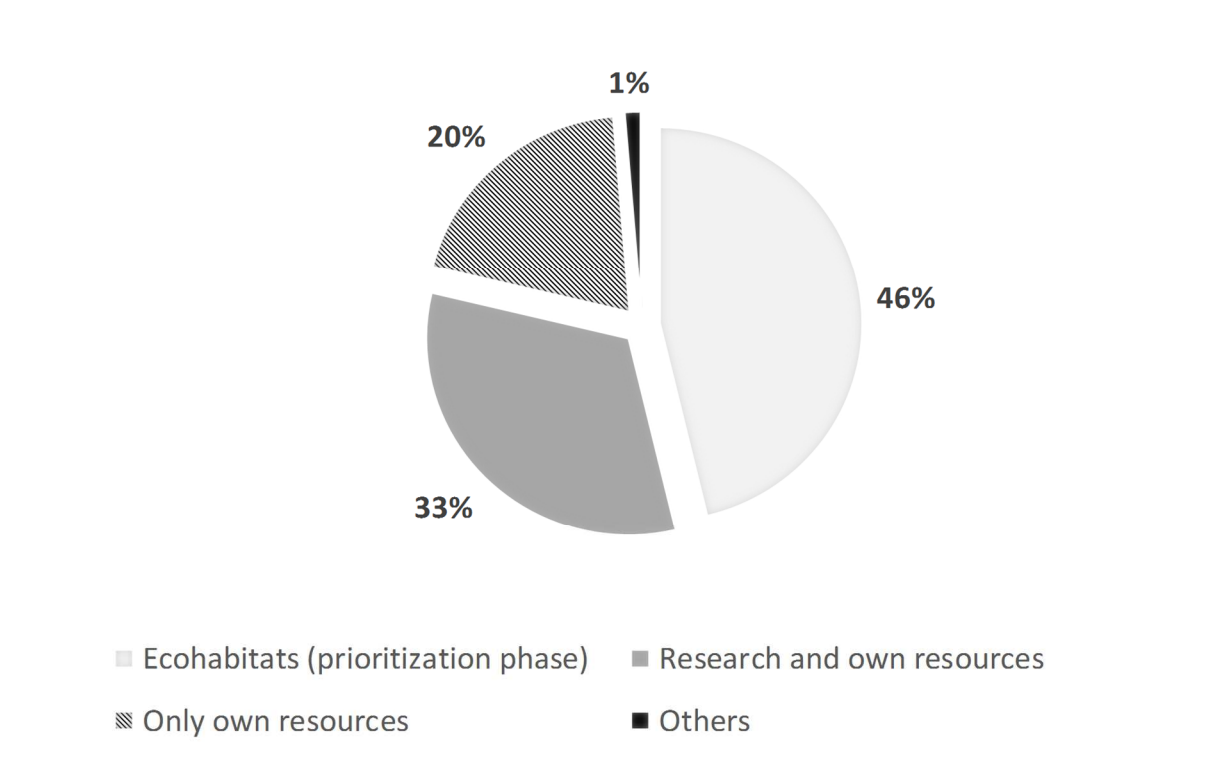


Figure 15: Ressources financières investies par les 30 producteurs faisant partie de l'expérimentation de techniques pour faire face au changement climatiques [Osorio *et al.*, submitted]

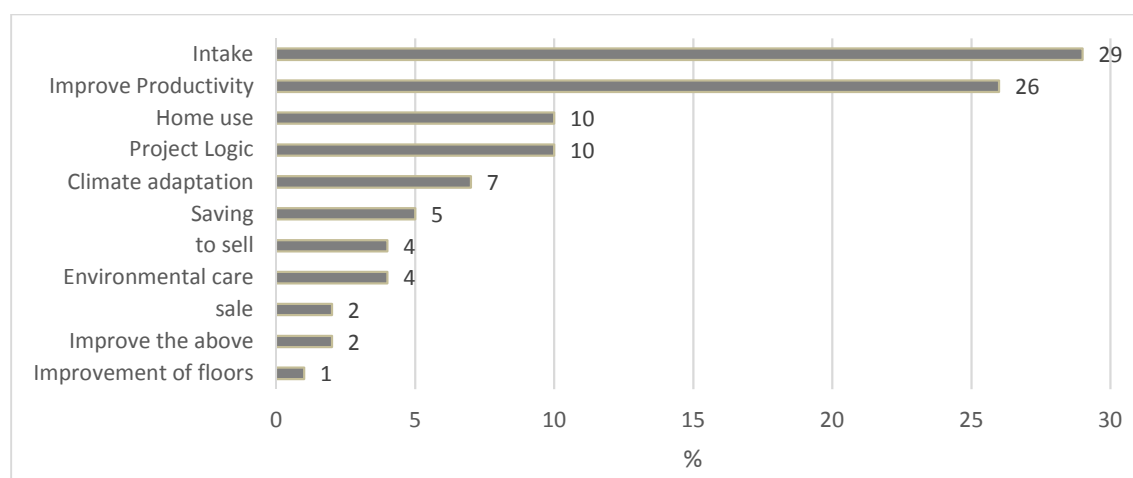


Figure 16: Raisons énoncées par les producteurs pour expliquer pourquoi les techniques ont été introduites au sein de leur exploitation [Osorio *et al.*, submitted]

Le début d'un processus de diffusion a aussi été observé du fait d'un nombre croissant de producteurs participant aux activités de la plateforme sur la base du bénévolat si l'on se réfère aux différentes phases d'un processus d'innovation mentionnées par Douthwaite *et al.* (2003).

5.5. Quels leviers (soutien à l'innovation, ou politiques agricoles) pourraient favoriser l'innovation ou l'adoption ?

Dans le cadre des sites de Colombie et du Honduras, nous avons analysé [Andrieu *et al.*, submitted] la façon dont les politiques publiques sectorielles ainsi que celles sur le CC s'articulent ou non (articulation ou non entre les messages et les instruments) et influent ou non sur les pratiques des producteurs du site d'étude. Les résultats montrent qu'il existe des tensions entre politiques sectorielles et politiques dédiées au changement climatique. Ces dernières sont récentes et les instruments prévus pour favoriser l'adaptation des producteurs ne sont pas encore implémentées. Des tensions ont également été observées entre le modèle de développement agricole promu par les institutions publiques (agriculture intensive) et les ONGs (agriculture agro-écologique).

Ces travaux illustrent alors le décalage qui peut exister entre des initiatives locales portées par des ONG ou des programmes de recherche et l'environnement politique déterminant pour permettre un changement d'échelle pour les innovations co-conçus.

Au Guatemala et au Mali, nous avons pu en outre avoir une réflexion sur le type de démarche à proposer aux acteurs nationaux afin de les aider à prioriser des actions en matière d'agriculture intelligente face au climat et in fine favoriser la mise en place d'un environnement institutionnel favorable à l'agriculture climato-intelligente. La démarche de priorisation des investissements en matière d'agriculture climato-intelligente a été testée avec les acteurs nationaux (ministères, ONGs, universités, représentants nationaux des groupements de producteurs). Cette démarche est basée sur quatre étapes visant à identifier puis à filtrer avec les acteurs du développement agricole différentes alternatives pour favoriser ce type d'agriculture. Lors de la première étape, un comité d'experts nationaux définit des zones et systèmes de production vulnérables ainsi qu'une liste longue de changements techniques et organisationnels dont les performances sont analysées selon les trois dimensions de l'agriculture climato-intelligente. Lors de la seconde étape les choix faits par le comité sont validés lors d'un atelier participatif avec une trentaine de participants choisis pour leur expertise sur les zones et ou les techniques choisies et une liste réduite de changements est choisie. Une analyse cout-bénéfices de la liste courte de changements techniques est réalisée lors de la troisième étape. Enfin, lors de l'étape 4, un second atelier participatif est organisé afin de définir un portefeuille de changements (3 à 5 changements jugés cohérents et prioritaires à l'échelle d'une exploitation et/ou d'un territoire agricole) ainsi que les plans d'actions associés.

Au Guatemala, la mise en œuvre de cette démarche a permis au ministère de l'agriculture de questionner sa politique incitative autour de certains changements techniques à destination des producteurs du « couloir sec » [Sain *et al.*, 2017]. Au Mali, cette démarche s'est traduite par

l'introduction d'alternatives priorit  es (Figure 17) dans différents projets de développement en cours dans la région de Sikasso [Andrieu *et al.*, 2017]. Ce « succès » relatif est lié à un environnement politique favorable du fait de l'existence d'une institution intersectorielle chargée au niveau national des actions en matière de changement climatique, de la reconnaissance de l'agriculture climato-intelligente comme une stratégie pour atteindre les objectifs fixés dans la contribution nationale pour la COP 21.

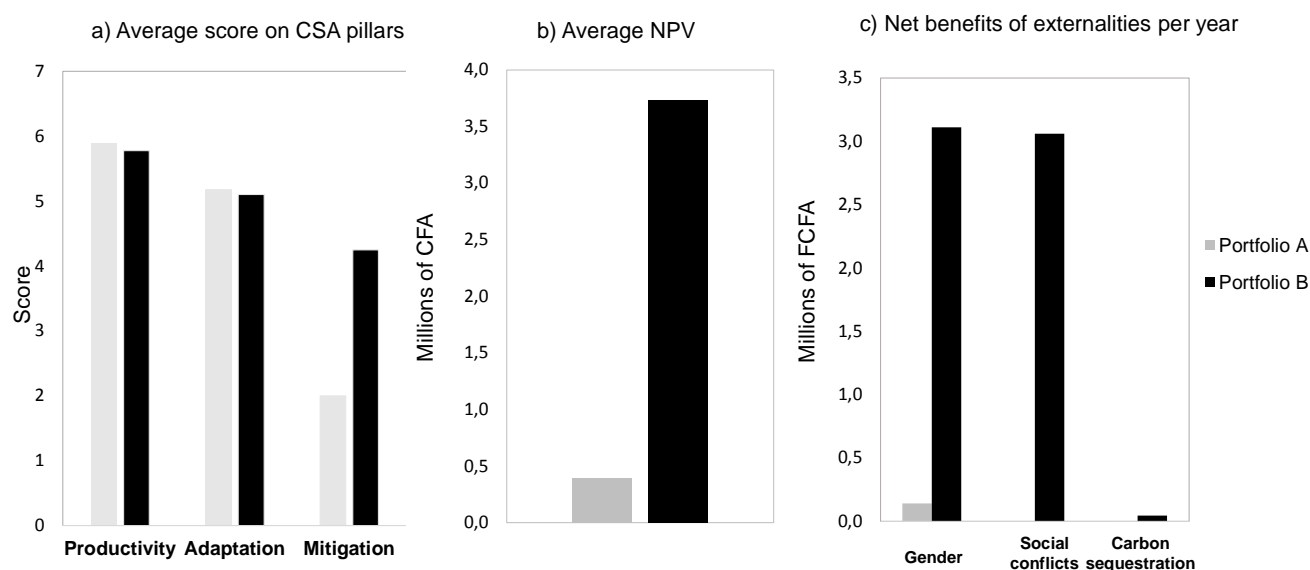


Figure 17: Les portefeuilles de changements techniques identifiés au Mali [Andrieu *et al.*, 2017]

5.6. Conclusion partielle

Ces travaux permettent d'approfondir la réflexion amorcée sur les démarches de co-conception de systèmes de production innovants en les situant au sein de systèmes sociotechniques tout en considérant les réseaux d'acteurs au niveau local et national. Ainsi à l'instar de Dowd *et al.* (2014) nous avons montré le lien entre réseau social et adaptation du producteur au CC en intégrant dans l'analyse des caractéristiques telles que le genre ou l'appartenance à un groupement de producteurs. Nous avons aussi montré l'importance d'améliorer les synergies entre des acteurs agissant au niveau local tels que les ONG et des acteurs publics demandeurs d'outils pour les aider à prioriser leurs actions. Ces démarches de co-conception sont également resitu  es au sein d'un système socioécologique avec l'analyse des cycles de vie qui a permis

d'explorer les impacts globaux (eg. en termes d'acidification, eutrophisation, augmentation des gaz à effet de serre) des changements testés.

Ces travaux confirment que les plateformes sont des espaces de co-définition de changements locaux et que l'analyse de l'environnement politique permet de définir des trajectoires pour un changement d'échelle. Ils permettent en outre d'analyser la spécificité des processus de co-conception de systèmes climato-intelligents. Dans ces processus, l'enjeu central est de réduire les tensions et synergies entre les trois piliers de l'agriculture climato-intelligente. Nous avons montré que ces tensions peuvent intervenir entre piliers lorsque les changements techniques favorisent par exemple une augmentation de la productivité au détriment des autres piliers ou encore limitent les émissions de gaz à effet de serre en entraînant un risque d'acidification. Ils interviennent également à différentes phases du processus de production (depuis l'accès aux intrants jusqu'à la transformation). Il apparaît alors important de se doter d'outils pour analyser ces tensions et synergies à différentes échelles.

Les résultats des travaux menés montrent, comme observé précédemment, la capacité de ces démarches à améliorer les connaissances opérationnelles des agriculteurs. Ils montrent également que la porte d'entrée pour impulser des changements techniques pour faire face au CC auprès des producteurs des pays du Sud est l'amélioration de la productivité et de la sécurité alimentaire mais il importe aussi de mesurer les co-bénéfices des stratégies testées en termes de mitigation pour ne pas conduire à une maladaptation et bénéficier des effets agrégés d'une réduction des émissions par les petits producteurs (Martinez-Baron *et al.*, 2018).

6. Leçons tirées sur la mise en application des démarches de co-conception de l'innovation

6.1. Quelles spécificités des démarches de co-conception mobilisées

Les **plateformes d'innovation** sont au cœur de la démarche de co-conception que j'ai utilisée dans mes travaux. Ces plateformes m'ont permis de formaliser le partenariat avec les acteurs de terrain (producteurs, ONG, techniciens) et favoriser leur implication dans la recherche. Leur spécificité par rapport à celles le plus souvent présentées dans la littérature (Devaux *et al.*, 2009 ; Tenywa *et al.*, 2011) est qu'elles n'intègrent pas nécessairement des acteurs des filières, mais plutôt des acteurs jouant un rôle dans l'accès aux ressources agricoles (chefs coutumiers pour l'accès aux résidus de cultures) ou aux connaissances techniques (ONG, techniciens). Ces plateformes ont reposé sur des dispositifs créés par des recherches antérieures à mes travaux (champs écoles, CCV) mais aussi sur des réseaux d'acteurs existants en dehors de la recherche, avec dans ce cas, l'hypothèse d'une plus grande durabilité de la dynamique créée. Au sein de ces plateformes, le facilitateur a joué un rôle clé comme démontré dans d'autres travaux reposant sur dispositifs de recherche en partenariat (Nederlof *et al.*, 2011, Swanss *et al.*, 2013, Cash *et al.* 2003). Dans les démarches de co-conception que j'ai mobilisées, ce facilitateur était toujours un acteur local (producteur, membre d'une ONG) appuyé par le chercheur (les collègues impliqués et moi) dont le rôle est de proposer des outils d'analyse de l'existant ou d'exploration de scénarios innovants afin d'identifier avec les producteurs les marges de progrès possibles entre deux situations de l'exploitation [Sempore *et al.*, 2015, 2016]. Notre rôle en tant que chercheurs était également de suivre les résultats de la plateforme en termes d'acquisition de nouvelles connaissances, de nouvelles connexions entre acteurs locaux ou d'adoption de pratiques [Dabire *et al.*, 2017, Osorio *et al.*, under revision]. Les acteurs de la plateforme se réunissaient pour discuter autour d'une problématique commune (par exemple les conflits autour de l'utilisation des ressources agropastorales, le changement climatique), proposer des changements, valider ou non nos propositions additionnelles, tester et améliorer les changements les plus prometteurs. Ces plateformes étaient surtout des lieux d'échange de connaissances empiriques et académiques pour à la fois renforcer les pratiques endogènes des producteurs (sur changement climatique, sur l'intégration entre agriculture et d'élevage) et améliorer nos connaissances sur les systèmes de production et les performances des pratiques agroécologiques testées.

Dans ces travaux, la modélisation a été un outil important pour synthétiser les connaissances sur les systèmes existants mais surtout pour explorer des changements avec les acteurs en tenant

compte des tensions et synergies entre objectifs multiples ou entre échelles qu'il faut considérer lorsqu'il s'agit d'analyser comment mieux valoriser les ressources au niveau de l'exploitation (pour par exemple répondre aux besoins alimentaires de la famille ou générer un revenu), du territoire villageois (lorsque par exemple différents types d'agriculteurs utilisent les résidus de culture) ou du processus de production-transformation (pour par exemple tenir compte des effets environnements générés en amont et en aval de l'exploitation). Berthet *et al.* (2015) ont également montré l'importance de l'exploration pour la co-conception de systèmes de production agroécologiques. Dans nos travaux, la distance entre l'existant et le scénario innovant était déterminée par le producteur lui-même en fonction de son souhait et sa capacité à mettre en place des changements plus ou moins radicaux. Ces derniers pouvant être liés à ses connaissances initiales sur les processus en jeu (par exemple sa connaissance initiale sur le CC, Osorio *et al.* [under revision]) ou ses capacités à investir dans des changements structurels (par exemple des changements d'infrastructure associés à une meilleure intégration agriculture-élevage, [Sempore *et al.*, 2016]). La nature des scénarios testés par les producteurs a alors influé sur l'exercice lui-même qui correspondait davantage à une conception pas à pas visant à améliorer l'efficacité du système dans un cas ou à une conception de novo visant à redéfinir le système avec plus d'incertitude sur les résultats simulés (March, 1991 ; Meynard *et al.*, 2012 ; Hill, 1998).

L'une des caractéristiques de la démarche que j'ai mobilisée est aussi l'articulation entre modélisation et expérimentation. L'expérimentation a permis aux producteurs de tester la faisabilité des changements techniques priorisés via la simulation et au final intégrer des dimensions non prises en compte dans les modèles (gestion des mauvaises herbes, pénibilité des opérations techniques). L'utilisation de l'expérimentation comme artefact pour la co-conception est très présente dans les travaux de prototypage de système de culture (Le Bellec *et al.*, 2012; Rapidel *et al.*, 2009).

Mes travaux ont été menés au sein d'équipes pluridisciplinaires. Par exemple, au CIRDES, les équipes incluaient un sociologue, économiste, des agronomes, et zootechniciens tandis qu'au CIAT, elles comportaient une anthropologue, des économistes et agronomes, l'un d'entre eux s'étant spécialisé sur l'analyse des politiques. Ces échanges ont favorisé l'évolution de la démarche conceptuelle en permettant une analyse plus systémique des déterminants socio-techniques d'innovations agroécologiques et de leurs effets technico-économiques et

environnementaux. Plus récemment l'analyse des politiques a permis de s'interroger sur incitations pour favoriser l'innovation.

Mais les démarches que nous avons mobilisées présentent certaines limitations déjà montrées par d'autres auteurs (Hueting and Reijnders, 2004 ; Schröter *et al.*, 2015). Il s'agit par exemple des jeux de pouvoir entre la recherche qui dicte parfois son agenda et les autres acteurs, ou entre le facilitateur et les autres acteurs locaux, le facilitateur pouvant orienter les choix pour favoriser ses propres intérêts ou sa position au sein de la communauté

Une autre limitation est le temps nécessaire pour établir la relation de confiance entre les acteurs à même de limiter les risques précédemment cités. Aussi les compromis qui sont faits au sein de la plateforme pour tenir compte des intérêts divergents entre acteurs peuvent aboutir à des choix de pratiques sub-optimaux aux regard d'enjeux de préservation des ressources (aboutissant par exemple au choix d'un système de culture tel que le maïs niébé au détriment du sorgho-poids d'angle au potentiel plus prometteur en termes d'amélioration de la fertilité des sols) ou encore de pratiques d'adaptation incrémentales au lieu d'une adaptation de rupture (Vermeulen *et al.*, 2013).

En outre mes travaux ont montré que les plateformes étaient pertinentes dans les premières phases du processus d'innovation (permettant la formulation de plans d'action, étant un espace d'expérimentation et de collecte de preuves sur une idée initiale). Le défi est souvent d'élargir cette diffusion et d'aller vers la phase d'inclusion définie par ces auteurs comme la dernière phase où les nouvelles pratiques sont largement acceptées. Cela nécessite généralement une institutionnalisation plus formelle du processus avec le soutien des décideurs politiques, des bailleurs de fonds, des institutions de développement et d'autres parties prenantes essentielles à la création d'un environnement propice au changement (Douthwaite *et al.*, 2003)

6.2. Quels produits issus de ces démarches ?

6.2.1. *Production de connaissance*

Cette démarche encore embryonnaire au Nordeste Brésilien mais que j'ai pu mûrir au Burkina Faso puis durant mon affectation au CIAT a produit différents types de résultats.

Tout d'abord des connaissances scientifiques sur le fonctionnement des systèmes de polyculture élevage dans plusieurs pays du sud qui se distinguent de ceux décrits en Europe (Moraine *et al.*

2014). En effet ces auteurs décrivent trois types principaux de systèmes intégrés (complémentarité, synergie locale et synergie territoriale). Au Nordeste du Brésil comme dans l'Ouest du Burkina Faso, les systèmes sont fortement miniers, encore largement basés sur la défriche de la végétation naturelle ou la surutilisation des parcours naturelles [Andrieu *et al.*, 2010 et 2015b]. En outre, au Burkina Faso une caractéristique importante des systèmes de polyculture-élevage réside surtout dans l'articulation entre des règles de gestion individuelles et collectives dans le temps et l'espace (par exemple surfaces cultivées gérées de façon individuelle durant la saison sèche et un pâturage collectif des résidus de culture durant la saison sèche). Nous avons montré comment dans ce contexte, les flux de biomasse et nutriments entre systèmes de culture et d'élevage entraînaient une accumulation de fertilité chez les éleveurs via le pâturage des résidus produits sur le territoire villageois mais au détriment des agriculteurs présentant d'importants déficits en nutriments. Nous avons aussi quantifié l'effet de ces flux de biomasse (la transhumance par exemple) sur la capacité des systèmes à limiter les variations de leur revenu face à des aléas climatiques et économiques.

Les changements que nous avons co-conçus avec les acteurs sont aussi bien un objet technique (le mode de travail du sol), un système de culture ou de production, ou un changement organisationnel (règles d'accès aux résidus de culture), qui sont replacés au sein de l'exploitation agricole et du territoire. La particularité de ces changements est qu'ils étaient pour la plupart agroécologiques : valorisation de la diversité des caractéristiques parcellaires en zone de montagne en Auvergne permettant de limiter la sensibilité du système fourrager aux aléas climatiques [Andrieu *et al.*, 2007], valorisation des synergies entre systèmes de culture et d'élevage pour limiter les pertes de nutriments sur les parcelles cultivées [Sempore *et al.*, 2016] ou limiter la sensibilité du système de production aux aléas climatiques et économiques [Andrieu *et al.*, 2015a]. De même les techniques climato-intelligentes que nous avons priorisées dans ces démarches étaient basées sur une meilleure valorisation des ressources en eau, une diversification des systèmes par l'introduction de jardins afin d'améliorer les synergies entre sécurité alimentaire, résilience et réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Nous avons montré que les changements techniques basés sur une meilleure valorisation de la biomasse à l'échelle de l'exploitation (via l'intégration agriculture-élevage ou l'agriculture de conservation) pouvaient diminuer la pression sur les ressources naturelles (la Caatinga) et améliorer les rendements chez certains types de producteurs mais pouvaient au Burkina Faso favoriser une appropriation des résidus de culture susceptible d'engendrer des tensions à

l'échelle du territoire villageois [Andrieu *et al.*, 2010, Andrieu *et al.*, 2015b]. Nous avons néanmoins montré que les effets sur les rendements pouvaient intervenir sur des pas de temps parfois trop longs [Corbeels *et al.*, 2014] ou être d'une ampleur réduite au regard de l'urgence des producteurs en termes de sécurité alimentaire et d'augmentation des revenus [Sempore *et al.*, 2016]. Nous avons aussi montré que les changements techniques pouvaient avoir des performances contrastées selon les indicateurs environnementaux considérés [Acosta-Alba *et al.*, 2019].

6.2.2. Production d'outils

Un résultat majeur de cette démarche est la diversité des outils méthodologiques que j'ai co-construits et utilisés, tels que des tableurs, modèles bio-économiques ou multi-agents.

La structure et l'usage des outils étant situés, ils dépendent du contexte dans lequel ils sont construits, de la nature des innovations évaluées. Dans ce cas, les outils construits sont amenés à disparaître une fois les objectifs spécifiques atteints. En effet nous avons construit les outils prioritairement pour répondre à une question spécifique de recherche et en impliquant dans certains cas les agriculteurs dans leur conception et ou leur validation [Andrieu *et al.*, 2012, Sempore *et al.*, 2015]. Néanmoins certains des outils développés ont été utilisés au-delà des questions spécifiques posées par le projet. Ainsi, dans le cas de Cikedra, l'outil a servi à animer des travaux avec les étudiants de l'université burkinabé de Bobo-Dioulasso et a récemment été adapté par d'autres collègues pour une utilisation au Vietnam [Van Moere *et al.*, 2018]. L'outil AMBAWA construit dans le cadre de la thèse de Tidiane Diarisso achevée en 2015 continue à être utilisé par d'autres collègues dans le cadre de projets de recherche au Burkina Faso ou au Zimbabwe (projet DSCATT au Zimbabwe). L'outil construit dans le cadre du projet Fontagro a ensuite été intégré dans une méthode de suivi de projet à plus grande échelle dans le cadre du programme transversal CCAFS. Ces outils n'ont pas été transférés à des organisations de conseil bien que dans certains cas de figures ils aient été utilisés avec des techniciens. En effet nous nous sommes focalisés essentiellement sur les changements de connaissances et de pratiques permis par les outils dans une démarche de co-conception de l'innovation, et peu sur leurs conditions d'utilisation au sein des structures de conseil. Nous n'avons donc pas cherché à évaluer les coûts pour la structure de conseil, liés à l'usage des outils, en matière de formation des techniciens, d'acquisition d'équipements informatiques, ou de nouvelle organisation du travail des conseillers.

6.2.3. Production de connaissances opérationnelles

Cash *et al.* (2003) montrent la nécessité de produire des connaissances crédibles, pertinentes et légitimes pour impulser des changements et montrent la capacité du partenariat à limiter les tensions entre ces trois dimensions. Notre démarche a permis de renforcer les capacités gestionnaires du producteur afin qu'il développe par lui-même des solutions pour répondre aux problématiques auxquelles lui et sa famille sont confrontés. Elle a ainsi permis producteurs avec lesquels j'ai travaillé de formuler des scénarios pour améliorer les performances de leurs systèmes de production [Sempore *et al.*, 2016]. Les modes de production agroécologiques sont éminemment situés (Duru *et al.*, 2014). Ils reposent en effet sur des interactions matérielles et immatérielles (croyances, modes de coordination des acteurs, processus de socialisation et d'apprentissage) dont le site est le creuset (Hakmi et Zaoual, 2008). Les changements techniques que nous avons co-construits peuvent alors difficilement être transposés dans un autre site présentant des caractéristiques sociales ou agroécologiques différentes (Wigboldus *et al.*, 2016), néanmoins les démarches peuvent être répliquées.

Nous avons en outre pu démontrer une amélioration des connaissances des producteurs (sur le rôle des résidus de culture par exemple ou sur le changement climatique) permise par les dispositifs de co-conception testés [Dabire *et al.*, 2017 ; Sempore *et al.*, 2016]. Ces modifications de connaissances et perceptions chez les acteurs sont une étape importante pour conduire à des changements de pratiques et une transformation des systèmes de culture et d'élevage. Nous avons montré des changements de pratiques des producteurs permis par exemple par une meilleure connaissance des flux entre systèmes de culture et d'élevage.

Les travaux que j'ai menés sur la co-conception de systèmes climato-intelligents sont plus récents avec moins de recul que ceux menés en zone agropastorale du Burkina Faso. J'aimerais les poursuivre et approfondir l'analyse des déterminants de la transition vers des systèmes de production faisant face au défi posé par le changement climatique. Les déterminants de cette transition sont peut-être à chercher également en dehors des frontières du secteur agricole. Dans mon projet scientifique j'analyserai comment les travaux transectoriels peuvent permettre d'enrichir cette réflexion.

III. Projet scientifique : écosystème d'innovation et co-conception de systèmes de production adaptés au changement climatique

1. Introduction

Le dernier rapport spécial de l'IPCC confirme que le changement climatique a déjà eu des impacts sur les écosystèmes naturels et anthropisés. De nombreux écosystèmes terrestres et océaniques et certains des services qu'ils fournissent ont déjà changé en raison du réchauffement de la planète (IPCC ; 2018). Ce rapport montre en outre que les engagements des pays pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre lors de l'accord de Paris ne vont pas permettre de contenir le réchauffement global à + 1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle. Un précédent rapport montrait que l'agriculture, la forêt et les autres utilisations des sols (pour utiliser une dénomination proposée par l'IPCC) sont responsables de 24 % des émissions de gaz à effet de serre (Smith *et al.*, 2014) faisant de ce secteur la deuxième source d'émission de gaz à effet de serre derrière le secteur de l'énergie. Néanmoins ce calcul ne tient pas compte des émissions associées à la fabrication et au transport des intrants agricoles ni à celui des produits agricoles attribuées à d'autres secteurs (énergie, industrie, transport). Réduire l'impact de l'agriculture sur les émissions de gaz à effet de serre implique de considérer les liens entre secteur agricole et ces autres secteurs. De même la résilience des ménages agricoles face au changement climatique dépend non seulement des activités agricoles mais aussi des activités extra-exploitation agricole. Trouver des synergies entre adaptation et mitigation implique alors de chercher des solutions au sein et en dehors du secteur agricole. Scherr *et al.* (2012) mentionnent également les risques de compétitions exacerbées entre secteurs du fait d'une raréfaction des ressources en eau par exemple et promeuvent une réflexion sur des territoires ou paysages climato-intelligents. Ils se caractérisent par des pratiques climato-intelligentes à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation, une diversité d'utilisation du territoire et une gestion des interactions entre ces utilisations.

Mes travaux récents menés sur la question de la co-conception de systèmes climato-intelligents montrent la nécessité de développer des approches systémiques où sont analysés l'influence des acteurs de l'environnement institutionnel sur les perceptions et pratiques d'adaptation des agriculteurs, les effets multiples des pratiques d'adaptation à l'échelle de l'exploitation et du territoire, ainsi que l'influence de l'environnement politique sur les choix de pratiques. Néanmoins ces travaux se sont largement centrés sur les acteurs, les techniques, et les politiques issues du secteur agricole. Aider l'agriculture à définir des solutions radicales pour faire face aux défis posés par le changement climatique, cela compte tenu de l'urgence signalée dans le dernier rapport de l'IPCC (IPCC, 2018), implique d'aborder le problème de façon plus large que le seul secteur agricole. Les travaux sur les paysages climato-intelligents proposent

d'analyser la façon d'engager des synergies entre différents acteurs du territoire pour définir de façon collective des solutions permettant de limiter les émissions de gaz à effet de serre, améliorer la résilience et la sécurité alimentaire (Harvey *et al.*, 2014 ; Scherr *et al.*, 2012). La définition donnée de ces paysages rejoint celle de territoire défini comme une appropriation à la fois économique, idéologique et politique de l'espace par des groupes qui se donnent une représentation particulière d'eux-mêmes, de leur histoire, de leur singularité (Di Meo, 1998). Ces travaux reposent en outre sur une prise en compte explicite du rôle que peuvent jouer des pratiques agroécologiques à différents niveaux d'échelle sur les synergies entre les piliers de l'agriculture climato-intelligente du fait de leur rôle sur le maintien des fonctions de l'écosystème ou de la gestion des interactions entre écosystèmes (savane, forêts, champs cultivés).

Les avancées récentes des démarches de co-conception d'innovations pourraient alors être mises à profit pour identifier comment favoriser ces territoires climato-intelligents. Ces démarches de co-conception reposent sur des processus ouverts et trans-sectoriels (Berthet et Hickey, 2018 ; Pigford *et al.*, 2018). Pigford *et al.* (2018) mettent en avant le **concept d'écosystème d'innovation** qui considère les interdépendances, imbrications, transitions et interconnexions entre différents réseaux d'acteurs impliqués dans des processus d'innovation. Pour passer des systèmes d'innovation aux écosystèmes d'innovation en agriculture, ces auteurs proposent 1) d'être plus explicite sur la dynamique de pouvoir dans les plateformes d'innovation ou communautés, 2) d'inclure à la fois des agents de changement humains et non humains (actants) de l'écosystème d'innovation et 3) de franchir les frontières (entre échelles, disciplines, secteurs). Ce concept paraît alors pertinent pour analyser comment aborder de façon transectorielle la question du changement climatique au sein de territoires climato-intelligents. Jucevičius et Grumadaitė (2014) définissent un écosystème d'innovation comme un système adaptatif complexe. Ainsi, son développement se fait sur la base des mécanismes de gestion des systèmes adaptatifs complexes et intègre des approches descendantes et ascendantes en donnant une place importante aux interactions dynamiques entre acteurs plutôt qu'à la structure ou la composition de l'écosystème.

Mon projet scientifique vise donc à répondre à la question suivante :

- Quel écosystème d'innovation pour aider l'agriculture à faire face aux défis posés par le changement climatique ?

Cette question implique de faire évoluer les démarches de co-conception de systèmes innovants mobilisées, la première question spécifique est alors :

- Quels démarches et outils pour favoriser les interactions entre les acteurs de l'écosystème d'innovation ?

Cette question est liée à celle d'une prise en compte plus explicite du rôle des services écosystémiques comme support de l'agriculture climato-intelligente, la seconde question spécifique est alors :

- Quels effets des pratiques agroécologiques sur les tensions et synergies entre sécurité alimentaire, adaptation et mitigation à l'échelle de l'exploitation et du territoire ?

Dans cette section je propose de repenser mon cadre méthodologique pour répondre à ces questions puis j'explique comment je propose de le mettre en œuvre les cinq prochaines années.

2. Cadre méthodologique

La démarche méthodologique utilisée précédemment pour co-concevoir des systèmes de production innovants reposait sur un certain nombre d'étapes (diagnostic, expérimentation, évaluation ex-ante et ex-post). Je propose de les maintenir mais d'en faire évoluer le contenu pour permettre de mieux dépasser les « frontières ».

2.1. Le diagnostic

L'étape du diagnostic, première étape dans la démarche que j'ai mobilisée jusqu'à présent, semble toujours aussi cruciale. Dans les travaux antérieurs elle portait sur les systèmes de production, les réseaux d'acteurs fournissant des informations techniques pouvant influencer sur leurs perceptions et pratiques d'adaptation. Il importe désormais de mieux caractériser lors de ce diagnostic l'articulation au sein d'un territoire entre l'agriculture et différents secteurs ou différents types d'usagers. Les réseaux d'acteurs associés, ainsi que les dynamiques de pouvoir au sein de différents réseaux d'acteurs, sont des aspects importants à considérer comme suggéré par Pigford *et al.* (2018). Précédemment je proposais d'analyser l'environnement politique une fois testés des changements au sein des plateformes d'innovation, avec un parti pris pour les approches bottom-up. Néanmoins dans les approches d'écosystème d'innovation, Jucevičius et Grumadaitė (2014) suggèrent de combiner les approches descendantes et ascendantes. Ce diagnostic doit donc aussi considérer les effets éventuels que peuvent avoir les instruments politiques (de différents secteurs) sur les pratiques d'adaptation au changement climatique des agriculteurs. Ce diagnostic doit permettre d'analyser la façon dont les acteurs de terrain gèrent au quotidien leurs interactions au sein d'un même réseau ou entre différents réseaux afin de tirer des leçons sur la façon de les gérer au sein de l'écosystème d'innovation.

L'analyse de réseaux sociaux déjà mobilisée dans les travaux antérieurs peut permettre d'analyser comment se superposent différents réseaux et qui sont les « nœuds » au sein et entre réseaux d'acteurs (Figure 18). Barnaud *et al.* (2018) suggèrent d'utiliser le cadre d'analyse des services écosystémiques pour identifier et caractériser les interdépendances sociales entre des personnes afin de réfléchir aux actions collectives existantes ou potentielles. Ils proposent d'identifier un sous-ensemble de services écosystémiques lié à une situation d'action donnée, une question, un problème autour duquel les personnes interagissent ou pourraient interagir, ainsi que les fournisseurs, intermédiaires et bénéficiaires des services écosystémiques. Ils proposent enfin de rendre explicite les représentations des parties prenantes sur les services écosystémiques, les échelles spatiales en jeu, les règles formelles et informelles régissant les interdépendances, les relations de pouvoir. Un tel cadre d'analyse pourrait être également mobilisé pour ce diagnostic autour des services écosystémiques de régulation du climat.

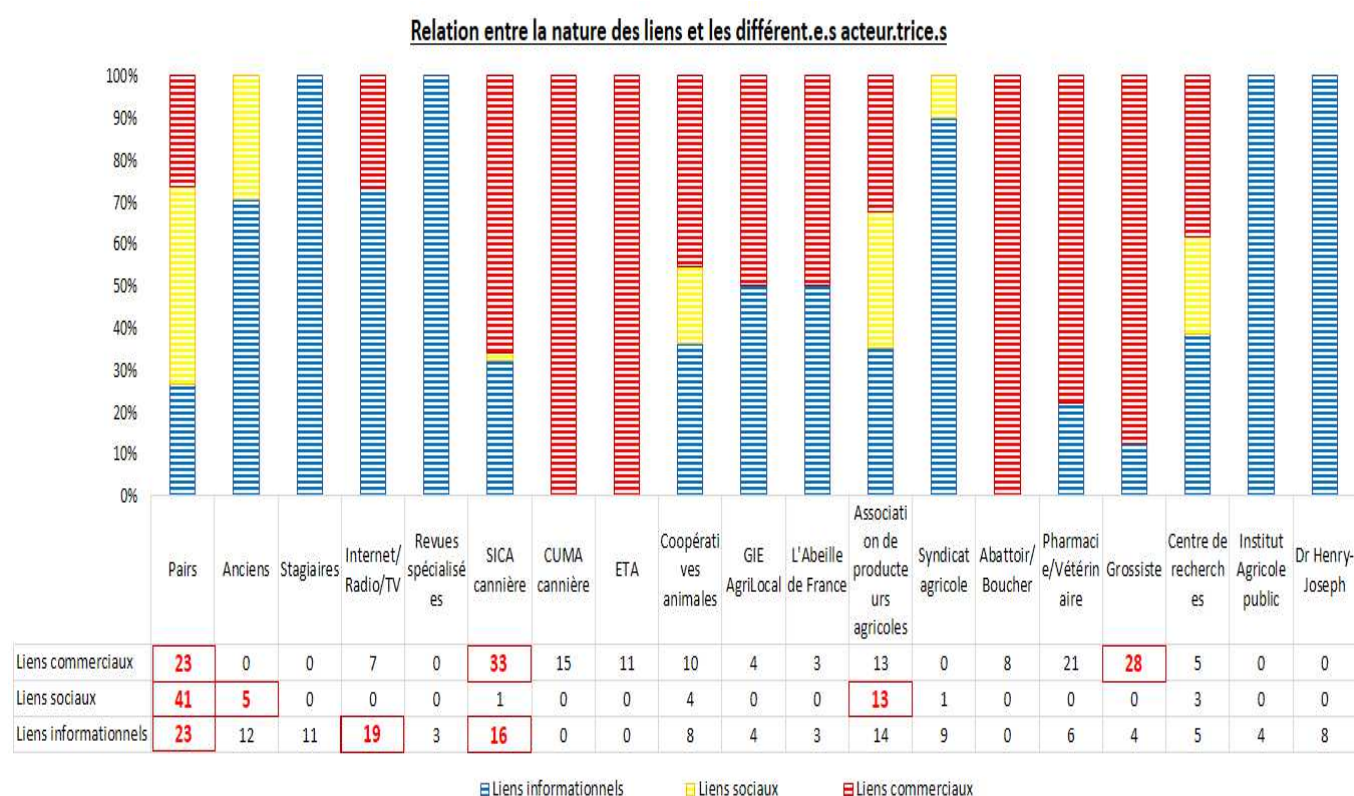


Figure 18 : Superposition des réseaux sociaux commerciaux et informationnels entre les agriculteurs et les acteurs du territoire de Nord Grande terre en Guadeloupe

2.2. La mobilisation de l'écosystème d'innovation

L'écosystème d'innovation est le dispositif mobilisé pour définir de façon participative des changements techniques innovants favorisant les synergies entre secteurs (par exemple des changements techniques agricoles plus économes en énergie) et minimisant les tensions.

Dans la démarche mobilisée précédemment, j'ai dans un premier fait le choix de me baser sur des dispositifs créés par la recherche (champs écoles ou comités mis en place dans le cadre de projets de recherche) puis sur des dispositifs préexistants (liens entre ONG et communauté organisée en groupements). La principale limite de ce dernier choix réside dans les rapports de force qui peuvent exister entre les acteurs préexistants et la recherche nouvellement arrivée (ce cas s'est posé en Colombie où l'ONG souhaitait garder son leadership dans la zone d'étude). Néanmoins elle est gage de plus de durabilité une fois terminée la recherche (voir section 6). Mobiliser l'écosystème d'innovation pour définir de façon participative des changements techniques innovants, c'est de mon point de vue renforcer les interactions que l'on juge favorables au sein de réseaux existants. Cela peut par exemple signifier renforcer les interactions entre les agriculteurs et des acteurs du transport par exemple. Comme suggéré par Jucevičius et Grumadaitė (2014), il ne s'agit pas de favoriser une structure rigide mais plutôt une structure dynamique et flexible permettant des interactions entre les différents secteurs d'activités et niveaux d'échelle identifiés au sein du territoire et jouant un rôle sur la question du changement climatique.

Compte tenu de la diversité des acteurs, se pose alors la question de la façon d'articuler des priorités et attentes pouvant être contradictoires. S'intéressant à la spécificité d'un processus de conception pour favoriser la transition vers des systèmes alimentaires durables, Meynard *et al.* (2017) mentionnent des pistes pour favoriser des objectifs partagés par une diversité d'acteurs hétérogènes. L'une d'entre elles est de considérer et intégrer la diversité des attentes des acteurs impliqués plutôt qu'une recherche illusoire de consensus. Cette intégration favorisant une exploration plus large de solutions innovantes.

Les TICs souvent présentés comme des outils permettant de favoriser la prise de décision individuelle de l'agriculteur (Janssen *et al.*, 2017), pourraient être des outils utiles pour favoriser les interactions et mutualiser les attentes et objectifs des parties prenantes. Saba *et al.* (2014) montrent leur rôle pour favoriser l'intelligence collective tandis que Hakmi et Zaoul (2008) mentionnent le rôle des TICs pour donner forme à des modes de collaboration déterritorialisées remettant en question le lien entre innovation située et proximité géographique. Il s'agirait plus précisément de les utiliser pour favoriser les échanges, suivre l'implémentation d'expérimentations puis les valider collectivement. Les téléphones portables qui ont augmenté de façon rapide dans les pays en voie de développement et en Afrique en particulier (El Bilali et Allahyar, 2018) pourraient être le support de tels interactions.

2.3. La modélisation ex-ante

La modélisation à l'échelle de l'exploitation a été un outil central dans mon cursus et je propose qu'elle demeure un outil privilégié pour explorer des scénarios innovants priorisés avec les acteurs. Les modèles à l'échelle de l'exploitation continuent d'avoir du sens pour les agriculteurs puisque l'exploitation constitue l'échelle de décision de l'agriculteur (Rodriguez *et al.*, 2014). Néanmoins Duru *et al.* (2015b) mentionnent la pertinence des modèles multi-agents comme outils d'exploration dans les démarches de co-conception de systèmes agroécologiques du fait de leur capacité à rendre compte des effets spatialisés des pratiques de gestion (Duru *et al.*, 2015b). Barnaud *et al.* (2018) montrent qu'ils peuvent contribuer à rendre explicites les compromis liés aux services écosystémiques et servir de support à la négociation des choix sociaux associés. Dans les travaux menés au Burkina Faso, nous avons utilisé les modèles multi-agents pour analyser les flux de biomasse à l'échelle du territoire entre types de producteurs. Dans ce projet scientifique ils pourraient aussi être mobilisés pour analyser des façons innovantes de favoriser les flux (de biomasse, d'énergie...) entre une diversité d'agriculteurs et d'autres acteurs du territoire en vue d'améliorer les synergies entre production, adaptation et mitigation. Ces modèles pourraient néanmoins être complétés avec d'autres outils d'exploration tels que l'ACV qui nous a permis de tenir compte de l'articulation entre des changements techniques au niveau de l'exploitation et d'autres secteurs en amont (industrie de production d'intrants minéraux, transport, utilisation d'énergie) et en aval (transformation) [Acosta-Alba *et al.*, 2019].

2.4. L'expérimentation

L'expérimentation des changements techniques priorisés collectivement et simulés est cruciale. Pour Jucevičius et Grumadaitė (2014), l'expérimentation est l'un des mécanismes pour gérer des systèmes complexes adaptatifs. L'expérimentation en milieu paysan permet de mettre en pratique des changements négociés collectivement. Les pratiques testées seront celles basées sur les principes de l'agroécologie (Altieri, 2002). Il s'agira de mieux expliciter les liens entre ces pratiques agroécologiques et leurs co-bénéfices en termes d'adaptation et de mitigation (Saj *et al.*, 2018). Cette expérimentation basée sur la valorisation de la biodiversité se situe donc aussi bien au niveau de l'exploitation que du territoire pour dans ce dernier cas tester différentes formes d'aménagement de l'espace (répartition entre zones de cultures, d'élevage et végétation naturelle) et différents types de flux entre agriculteurs afin de favoriser les régulations biologiques, la complémentarité et la coopération entre agriculteurs (Duru *et al.*, 2015a ; Moraine *et al.*, 2014). Compte tenu du caractère situé des innovations agroécologiques et de

l'incertitude liée à la complexité des processus écologiques (et sous contrainte de changement climatique), Duru *et al.* (2015a) insistent sur l'importance de la gestion adaptative basée sur des essais-erreurs et le rajustement continu des pratiques. Cette expérimentation agronomique doit donc souvent être associée à des expérimentations techniques et organisationnelles non agronomiques tels que de nouveaux modes de transformation, de transport, de collaboration, ou nouveaux rôles. Ces expérimentations organisationnelles peuvent correspondre à des structures de gouvernance favorisant le processus d'apprentissage social nécessaire pour développer une coordination au niveau local entre les activités des systèmes agricoles, des chaînes d'approvisionnement et de la gestion des ressources naturelles (Duru *et al.*, 2015b). Selon ces auteurs, les structures hybrides voire informelles de gouvernance constituent des espaces appropriés pour redéfinir les valeurs et les normes et ainsi favoriser les changements radicaux visés.

2.5. Evaluation du processus

Dans la démarche de co-conception employée jusque-là, cette évaluation du processus intervenait ex-post [Dabire *et al.*, 2017, Osorio *et al.*, under review]. La proposition est ici d'avoir une évaluation plus fréquente, presque en temps réel du processus. Cette évaluation sous forme de boucle de rétroaction peut alors constituer une des composantes des interactions que l'on souhaite multiplier entre les acteurs de l'écosystème d'innovation. Prost *et al.* (2018) mentionnent l'importance du suivi dans les démarches de conception de systèmes agricoles innovants où l'accent est souvent mis sur l'invention au détriment de l'implémentation. Dans cette évaluation il importe de considérer des indicateurs permettant de mesurer la distance entre les objectifs définis collectivement et l'implémentation concrète sur le terrain (Prost *et al.*, 2018). Les travaux que je mène avec CCAFS montrent que les smartphones couplés à la plateforme « geofarmer » peuvent être utilisés dans une diversité de contextes pour collecter et analyser des données à l'échelle de l'exploitation et des communautés et favoriser le suivi de projet. Dans le cadre de ces travaux le suivi est annuel et réalisé par des techniciens. Mais on pourrait envisager un suivi à chacune des avancées du projet impliquant les acteurs eux-mêmes. Les indicateurs à suivre pour cette évaluation doivent être en lien avec les objectifs définis collectivement. Mais il peut s'agir de s'assurer en temps réel que les connaissances produites sont crédibles, pertinentes et légitimes pour les différents acteurs impliqués (Cash *et al.*, 2003).

3. Quel rôle de l'agronome au sein de l'écosystème d'innovation ?

Prost *et al.* (2016) soulignent que la conception de systèmes agricoles innovants est distribuée entre un nombre de plus en plus élevé d'acteurs tels que par exemples les consommateurs, les autorités locales, des ONG. Au sein de l'écosystème d'innovation, l'agronome est alors un acteur qui hybride ses connaissances avec des chercheurs d'autres disciplines, des agriculteurs et des acteurs d'autres secteurs pour élaborer des changements innovants (Prost *et al.* 2017). L'agronome n'est donc plus le seul en charge de la conception: il prend en compte les connaissances locales pour aider à la conception de techniques adaptés à la spécificité des agrosystèmes et utilise des modèles moins complexes (Salembier *et al.*, 2018).

Il peut aussi jouer le rôle de gestionnaire de l'écosystème (Berthet et Hickey, 2018), même si ce rôle peut être également assuré par d'autres acteurs. Pour ce gestionnaire, une fonction centrale est celle de faciliter l'exploration collective (Berthet et Hickey, 2018). Elle implique selon ces auteurs la création collective de nouveaux contenus en explorant des idées, la recherche de la congruence des objectifs, le développement d'une stratégie collective en modifiant les perceptions des participants du réseau et en influençant les valeurs et les normes des acteurs. Dans de tels systèmes complexes, le rôle spécifique de l'agronome est de produire des outils pour réaliser des diagnostics multicritères aux différentes échelles pertinentes, d'accompagner la réalisation des compromis dans les choix techniques, d'identifier les trajectoires d'évolution les plus pertinentes (Doré *et al.*, 2011). Néanmoins Prost *et al.* (2018) soulignent la nécessité pour l'agronome de ne pas seulement construire des outils favorisant l'exploration ou l'invention mais aussi des outils au service de l'implémentation. Des outils plus simples que les modèles peuvent alors être utilisés tels que des jeux, des images, des tableaux de bords. Pour favoriser l'implémentation des changements, l'agronome a aussi un rôle important à jouer en proposant des indicateurs de suivi de l'implémentation des changements (Prost *et al.*, 2018). L'agronome doit enfin produire des connaissances sur l'effectivité de ces démarches et outils à favoriser la transition souhaitée, sur les performances des systèmes co-conçus en termes d'adaptation et mitigation à différents niveaux d'échelle et sur les innovations à la fois techniques et organisationnelles nécessaires.

4. Les projets de recherche au service du projet scientifique

Plusieurs projets ayant démarré en 2018 et d'autres en cours de montage pourront permettre de mettre en application la méthode proposée (tableau 11).

Le projet ARTIMIX (ANR, 2018-2020) pourra permettre d'analyser l'effet du mixte de politiques sur les stratégies et pratiques d'adaptation au changement climatique des agriculteurs

en Colombie et en Guadeloupe en considérant non seulement les politiques agricoles mais aussi d'autres politiques issues de d'autres secteurs de production. Dans ce projet je coordonne un groupe d'activités visant justement à analyser le lien entre politique d'adaptation au changement climatique, stratégies d'adaptations et leurs effets. Le projet AgroEcoDiv Phase 2 (2018-2020) où j'apporte un appui méthodologique sur les démarches de co-conception de systèmes innovants et le projet Compromis (EcoServ 2018-2020) que je coordonne pourront permettre d'analyser comment s'articulent sur un territoire (la communauté de commune Nord Grande Terre en Guadeloupe) différents réseaux d'acteurs. Les résultats préliminaires ont porté sur les réseaux socio-techniques agricoles. Mais le lien entre ces réseaux et d'autres secteurs pourrait être analysé puisque ce territoire a été choisi du fait d'un projet d'implantation d'une usine de transformation des produits agricoles pour les cantines scolaires. Des scénarios de transition agroécologique seront discutés avec ces acteurs lors d'ateliers. Puis des changements techniques et organisationnels pourront être priorités et expérimentés.

Le suivi des sites pilotes du projet CCAFS permet de tester la faisabilité des Android et de l'application geofarmer pour le suivi de projet et favoriser les interactions entre un centre de recherche international et ses partenaires de terrain (ONG, centres nationaux de recherche, agriculteurs). Cette méthode déjà mobilisée en Colombie (la genèse de la méthode étant le site de Colombie) pourrait être mobilisée notamment sur le terrain Nord Grande Terre et avec une plus grande diversité d'acteurs.

Un projet H2020 en cours de construction (concept note déposée en janvier 2019) et portant sur la co-conception de systèmes agro-sylvo-pastoraux climato-intelligents pourrait permettre d'articuler l'ensemble des composantes de la démarche sur un même terrain. Dans ce projet les plateformes d'innovation sont au cœur de la démarche de recherche proposée. Mon rôle serait de coordonner l'un des WP visant à analyser avec les acteurs de terrain au niveau des exploitations et territoires les performances des systèmes existants afin d'alimenter la co-conception de systèmes innovants via la simulation et l'expérimentation en milieu paysan.

Tableau 11 : Liste des projets de recherche au service du projet scientifique

Nom du projet	Date de début- Date de fin	Objectif global	Terrains
ARTIMIX	Janvier 2018- decembre 2020	Determine the conditions of successful design and implementation of articulated adaptation to CC policy mixes to foster ecological transition in tropical vulnerable agricultural tropical landscapes.	Colombie-Guadeloupe
Agroecodiv	Juillet 2018- décembre 2020	Concevoir, avec les acteurs, des innovations (agrotechniques, organisationnelles, institutionnelles et territoriales) pour produire et rétribuer des services écosystémiques, et, plus largement, pour fédérer les acteurs autour d'un projet de développement territorial agroécologique co-construit.	Guadeloupe
Compromis	Janvier 2018- decembre 2019	Comprendre les leviers et verrous des services écosystémiques au niveau des PAFAG et du territoire pour mettre en place (développer, inciter) une agriculture agro-écologique en Guadeloupe.	Guadeloupe
Suivi-évaluation des climate smart village du projet CCAFs	Novembre 2016- Décembre 2019	Développer un système de suivi annuel de l'effet des pratiques testées dans les 32 sites du projet CCAFS sur les différents piliers de l'agriculture climato-intelligente et de leur adoption.	Colombie-Guatemala- Ghana-Ouganda- Vietnam-Nepal

Conclusions

Mes travaux sur la conception de systèmes agricoles innovants ont accordé une place croissante au partenariat avec les acteurs de terrain auxquels j'ai cherché à donner un rôle actif dans la définition des objectifs, des alternatives à expérimenter et dans l'évaluation des résultats produits. Le partenariat a été chaque fois plus formalisé et les dispositifs tels que les plateformes d'innovation ont été des espaces favorisant les interactions avec ces acteurs. La modélisation a été un outil central dans mes travaux. Présente dès ma thèse comme un outil d'analyse du fonctionnement de l'exploitation, la modélisation a pris des formes multiples en fonction des questions posées et a souvent servi de support pour identifier ou valider les choix faits au sein des plateformes. Mes travaux ont mobilisé des équipes composées de chercheurs issus tout aussi bien des sciences biophysiques que des sciences sociales avec lesquels j'ai co-encadré une quinzaine d'étudiants niveau master, doctorat et post-doctorat. Ces équipes m'ont aidé à enrichir chaque fois plus la démarche et élargir les frontières du système considéré. Ces travaux ont produit des connaissances opérationnelles et scientifiques sur les performances des systèmes innovants mobilisant de façon implicite ou explicite les principes de l'agroécologie ou sur les démarches et outils pour co-concevoir des systèmes innovants. La question du changement climatique a pris une place croissante dans mes travaux ces 5 dernières années puisque je me suis intéressée à la spécificité des démarches de co-conception pour y faire face. L'une des spécificités majeures des démarches de co-conception dans ce cadre, réside dans la construction avec les acteurs de terrain de systèmes à la fois plus à même de faire face à des phénomènes climatiques extrêmes, réduisant leurs émissions de gaz à effet de serre, pour ne pas accentuer le problème, tout en répondant aux besoins des ménages en termes d'amélioration des revenus et de sécurité alimentaire. La multiplicité des critères à intégrer pour construire de tels systèmes invite à dépasser les frontières de l'agriculture et des disciplines. J'envisage à travers le projet scientifique présenté de dépasser davantage que je n'ai pu le faire ces frontières en mobilisant le concept d'écosystème d'innovation. La multiplicité d'acteurs que ce concept invite à impliquer est un défi avec le risque que certaines difficultés déjà observées au sein des plateformes d'innovation soient accentuées (jeux de pouvoir entre acteurs en particulier). Néanmoins ce concept me paraît prometteur pour élaborer des propositions plus radicales afin d'être à la hauteur des scénarios plutôt pessimistes prévus par les climatologues. Dans ce projet, il sera important de former de jeunes chercheurs en charge de co-construire avec les agriculteurs ces propositions.

Références

- Aggeri, F., Hatchuel, A. 2003. Ordres socio-économiques et polarisation de la recherche dans l'agriculture : pour une critique des rapports science/société. *Sociologie du travail* 45 : 113–133. doi: 10.1016/S0038-0296(02)01308-0
- Albaladejo, Ch. Casabianca, F. (Editeurs), 1997. *La Recherche-Action. Ambitions, pratiques débats. Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 30 .
- Alter, N., 1995. Peut-on programmer l'innovation ? *Revue Française de Gestion*, pp. 78-86
- Akrich, M., Callon, M., Latour, B. 1988. A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement; 2 : Le choix des porte-parole. *Gérer et Comprendre. Annales Des Mines*, (11 & 12), 4–17 & 14–29. Retrieved from <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00081741>
- Altieri, M., C. Nicholls, A. Henao, and M.A. Lana. 2015. "Agroecology and the Design of Climate Change-Resilient Farming Systems." *Agron. Sustain. Dev.* 35: 869–90. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>.
- Altieri, MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 93: 1–24. PII: S0167-8809(02)00085-3
- Altieri, MA. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 19–31. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00028-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6)
- Argyris, Ch., Schön, D. 2002 *Apprentissage organisationnel. Théorie, méthode, pratique* Bruxelles, De Boeck.
- Armstrong, H., I. Gordon, S. Grant, N. Hutchings, J. Milne, Sibbald, A. 1997. A model of the grazing of hill vegetation by sheep in the UK. I. The prediction of vegetation biomass. *J. Appl. Ecol.* 34:166-185. DOI: 10.2307/2404857
- Ash, A., Nelson, R., Howden, M., Crimp, S. 2007. Australian agriculture adapting to climate change: balancing incremental innovation and transformational change. *Outlook 2008*. http://www.abare.gov.au/interactive/Outlook08/files/day1/Ash_ClimateChange.pdf
- Badibanga, T., Ragasa, C., Ulimwengu, J. 2013. Assessing the Effectiveness of Multistakeholder Platforms Agricultural and Rural: Management Councils in the Democratic Republic of the Congo. Retrieved from <http://ssrn.com/abstract=2249799>
- Barnaud, C., Le Page, C. Dumrongrojwathana, P., Trebuil, G. 2013. Spatial Representations are not Neutral: Lessons From a Participatory Agent-Based Modelling Process in a Land-Use Conflict. *Environ. Modell. Softw.* 45: 150-159. 10.1016/j.envsoft.2011.11.016
- Barnaud, C., Corbera, E., Muradian, R., Salliou, N., Sirami, C. , Vialatte, A. , Choisis, J.-P., Dendoncker, N., Mathevet, R., Moreau, C., Reyes-García, V., Boada, M., Deconchat, M., Cibien, C., Garnier, S., Maneja, R., Antona, M. 2018. Ecosystem services, social interdependencies, and collective action: a conceptual framework. *Ecol. Soc.* 23:15. <https://doi.org/10.5751/ES-09848-230115>
- Basu, M., Hoshino, S., Hashimoto, S. 2015. Many issues, limited responses: Coping with water insecurity in rural India. *Water Resources and Rural Development* 5: 47–63. <https://doi.org/10.1016/j.wrr.2015.07.001>
- Basu, P., Scholten, B. A. 2012. Crop–livestock systems in rural development: Linking India's Green and White Revolutions. *Int. J. Agric. Sustain.* 10: 175–91. doi:10.1080/14735903.2012.672805.
- Becu, N., Neef, A., Schreinemachers, P., Sangkapitux, C. 2008. Participatory computer

- simulation to support collective decision-making: Potential and limits of stakeholder involvement. *Land Use Pol.* 25: 498-509. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.002>
- Belem, M., Manlay, R., Müller, J., Chotte, J. 2011. CaTMAS: A multi-agent model for simulating the dynamics of carbon resources of West African villages. *Ecol. Model.* 222: 3651–3661. doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.08.024
- Bell, A., Parkhurst, G., Droppelmann, K., Benton, T. 2016. Scaling up pro-environmental agricultural practice using agglomeration payments: Proof of concept from an agent-based model. *Ecol. Econ.* 126: 32–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.002>
- Berthet, E.T., Hickey, G.M. 2018. Organizing collective innovation in support of sustainable agro-ecosystems: the role of network management. *Agric. Syst.* 165: 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.05.016>
- Berthet E.T.A., Barnaud C., Girard N., Labatut J., Martin G. 2015. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *J. Environ. Plan. Manage.* 1-22, DOI: 10.1080/09640568.2015.1009627
- Boogaard, B., Schut, M., Klerkx, L., Leeuwis, C., Duncan, A., Cullen, B. 2013. Critical issues for reflection when designing and implementing Research for Development in Innovation Platforms. Report for the CGIAR Research Program on Integrated Systems for the Humid Tropics. Knowledge, Technology & Innovation Group (KTI), Wageningen University & Research Centre, the Netherlands.
- Bonneviale, J.R., Jussiau, R., Marshall, E. 1989. L'approche globale de l'exploitation : comment la définir ?, p. 57-71 *Approche globale de l'exploitation agricole*. INRAP,
- Dijon.Bousquet, F., Bakam, I., Proton, H., Le Page, C. 1998. Cormas : Common-Pool Resources and Multi-agent Systems. *Computer Sci.* 1416 : 826 – 837. https://doi.org/10.1007/3-540-64574-8_469
- Bergez, J.-E., Charron, M.-H., Leenhardt, D., Poupa, J.-C. 2012. MOUSTICS: a generic dynamic plot-based biodecisional model. *Comput. Electron. Agric.* 82: 8-14. 10.1016/j.compag.2011.12.006
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, P., Beatriz, R., Medellín, C., Fung, E., Donatti, CI. 2015. La agricultura de Honduras y el cambio climático: Dónde están las prioridades para la adaptación? Santiago de Cali: CGIAR.
- Brooks, J. 2014. Policy coherence and food security: The effects of OECD countries' agricultural policies. *Food Policy* 44: 88-94.
- Brown, T.N., Kulusari, D. 1996. Validating models of complex, stochastic, biological systems. *Ecol. Modell.* 86 : 129–134.
- Callon, M., Lascoumes, P., Barthe, Y. 2001. *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique* Ed. Seuil, 258 p.
- Callon M. 1986. Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et de marins pêcheurs dans la Baie de Saint-Brieuc. *Annee Sociol.* 36: 169–208.
- Campbell, B.M., Vermeulen, S.J., Aggarwal, P.K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A.M., Ramirez-Villegas, J., Rosenstock, T., Sebastian, L., Thornton, P.K., Wollenberg, E. 2016. Reducing risks to food security from climate change. *Glob. Food Sec.* 11: 34–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2016.06.002>.
- Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., Jäger J., Mitchell, R. B. 2003. Knowledge systems for sustainable development. *PNAS* 100: 8086-8091.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>

Chia, E., Deffontaines, J.P. 1999. Pour une approche socio-technique de la "gestion de la qualité de l'eau" par l'agriculture. *Nature, Sciences Société* 7: 31-41.

Cour, J.M. 2001. The Sahel in West Africa: countries in transition to a full market economy. *Global Environ. Change*, 11: 31-47. PII: S 0 9 5 9 - 3 7 8 0 (0 0) 0 0 0 4 3 - 1

CIAT. 2013. "Evaluación de La Vulnerabilidad Al Cambio Climático de La Agricultura En La Región Andina de Colombia." *CIAT Políticas En Síntesis* 13: 1–6.

Delmotte, S., Barbier, J.-M., Mouret, J.-C., Le Page, C., Wery, J., Chauvelon, P., Sandoz, A., Lopez Ridaura, S. 2016. Participatory integrated assessment of scenarios for organic farming at different scales in Camargue, France. *Agric. Syst.* 143: 147-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.009>

de Tourdonnet, S., Brives, H. 2019. Innovation agro-écologique : comment mobiliser des processus écologiques dans les agrosystèmes ? In : *Innovation et développement dans les systèmes agricoles et alimentaires*. Faure Guy (ed.), Chiffolleau Yuna (ed.), Goulet Frédéric (ed.), Temple Ludovic (ed.), Touzard Jean-Marc (ed.). Versailles : Ed. Quae, 151-161. (Synthèses : Quae) ISBN 978-2-7592-2813-3.

<https://www.quae.com/produit/1518/9782759228133/innovation-et-developpement-dans-les-systemes-agricoles-et-alimentaires>

Devaux, A., Horton, D., Velasco, C., Thiele, G., López, G., Bernet, T., Reinoso, I. Ordinola, M. 2009. Collective action for market chain innovation in the Andes. *Food Policy* 34: 31–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.10.007>.

Di Meo, G. 1998. De l'espace aux territoires: éléments pour une archéologie des concepts fondamentaux de la géographie. *L'information géographique*, 62 : 99–110.

Djamen Nana, P., Djonnewa, A., Havard, M., Legile, A. 2003. Former et conseiller les agriculteurs du Nord-Cameroun pour renforcer leurs capacités de prise de décision. *Cah. Agric.* 12 : 241-245.

Dogliotti, S., García, M.C., Peluffo, S., Dieste, J.P., Pedemonte, A.J., Bacigalupe, G.F., Scarlato, M., Alliaume, F., Alvarez, J., Chiappe, M., Rossing W.A.H. 2014. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. *Agric. Syst.* 126: 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.02.009>

Doré, T., Malézieux, E., Trébuil, G. 2011. Comment l'évolution des systèmes alimentaires interroge-t-elle l'agronomie ? *Agronomie, environnement et sociétés* 11 : 37-48. <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/revue-aes-vol1-n2-decembre-2011/revue-aes-vol1-n2-4/>

Douthwaite, B., Kuby, T., Van De Fliert, E., Schulz, S. 2003. "Impact Pathway Evaluation: An Approach for Achieving and Attributing Impact in Complex Systems." *Agric. Syst* 78: 243-265. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(03\)00128-8](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(03)00128-8).

Dowd, A., Marshall, N., Fleming, A., Jakku, E., Gaillard, E., Howden, M. 2014. The role of networks in transforming Australian agriculture. *Nat. Clim Change* 4: 558–563. <http://doi.org/10.1038/nclimate2275>

Dugué, P., Dounias, I. 1997. Intensification, choix techniques et stratégies paysannes en zone cotonnière du Cameroun. Le cas des systèmes de culture des zones d'installation des agriculteurs migrants, In: *Succès et limites des révolutions vertes* (Griffon M., ed.), Cirad, Montpellier, France, 93-106.

- Dugue, P., Vall, E., Lecomte, P., Klein, H.D., Rollin, D. 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. OCL 11 : 268–275.
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.A., Justes, E., Journet, E.P., Aubertot, J.N., Savary, S., Bergez, J.E., Sarthou, J.P. 2015a. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35: 1259–1281. DOI 10.1007/s13593-015-0306-1
- Duru, M., Therond, O., Fares, M. 2015b. Designing agroecological transitions; A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35:1237–1257. DOI 10.1007/s13593-015-0318-x
- Duru, M., Felten, B., Theau, J.-P., Martin, G. 2012. A modelling and participatory approach for enhancing learning about adaptation of grassland-based livestock systems to climate change. *Reg. Environ. Chang.* 12: 739-750. DOI: 10.1007/s10113-012-0288-3
- El Bilali, H., Allahyari, M.S. 2018 Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication technologies. *Info Proc Agri* 5 : 456-464. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.06.006>
- Fallot, A. 2016. Témoignage sur la conférence « Climate-smart agriculture 2015 » (Montpellier, 16–18 mars 2015). *Nat. Sci. Soc.* 24: 151–153. DOI: 10.1051/nss/2016013.
- FAO. 2010. Agricultura “climáticamente inteligente” Políticas, prácticas y financiación para la seguridad alimentaria, adaptación y mitigación, 54.
- Faure, G., Gasselin, P., Triomphe, B., Hocdé, H., Temple, L. 2010. Innover avec les acteurs du monde rural: La recherche-action en partenariat. Versailles, France, Quae.
- Flichy, P. 1995. L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation. Sciences et société, Ed. la Découverte
- Fox, P., Rockström, J., Barron, J. 2005. Risk analysis and economic viability of water harvesting for supplemental irrigation in semi-arid Burkina Faso and Kenya. *Agric. Syst.* 83, 231-250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2004.04.002>
- Galdies, C., Said, A., Camilleri, L., Caruana, M. 2016. Climate change trends in Malta and related beliefs, concerns and attitudes toward adaptation among Gozitan farmers. *Eur. J. Agron.* 74: 18–28. doi: 10.1016/j.eja.2015.11.011
- Geels, F. W. 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environ. Innov. Soc. Tr.* 1: 24–40
- Geels, F.W. 2002. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy* 31: 1257–1274. PII: S0048-7333(02)00062-8
- Germanwatch. 2017. Global Climate Risk Index 2017. 978-3-943704-49-5. 32pp.
- Giller, K.E., Witter, E., Corbeels, M., Tittonell, P. 2009. Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crops Res.* 114: 23–34. doi:10.1016/j.fcr.2009.06.017
- Gliessman, S. 2016. Transforming food systems with agroecology, *Agroecol. Sust. Food.* 40: 3, 187-189. doi: 10.1080/21683565.2015.1130765
- Gobbi, J., Casasola, F. 2003. “Comportamiento Financiero de La Inversión En Sistemas Silvopastoriles En Fincas Ganaderas de Esparza, Costa Rica.” *Agroforestería En Las Américas* 10 (39–40): 52–60. <http://www.sidalc.net/repdoc/A2349e/A2349e.pdf>.

- Groot, J.C.J., Oomen, G.J.M., Rossing, W.A.H. 2012. Multi-objective optimization and design of farming systems. *Agric. Syst.* 110: 63-77. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.012>
- Guinée, J., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H., Bruijn, H., van Duin, R., Huijbregts, M. 2002. Handbook on LCA, Operational Guide to the ISO Standards.
- Hammond, J., Fraval, S., van Etten, J., Suchini, J.G., Mercado, L., Pagella, T., Frelat, R., Lannerstad, M., Douchamps, S., Teufel, N., Valbuena, D., van Wijk, M.T., 2017. The Rural Household Multi-Indicator Survey (RHoMIS) for rapid characterisation of households to inform climate smart agriculture interventions: description and applications in East Africa and Central America. *Agric. Syst.* 151: 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.003>
- Harvey, C.A., Chacón, M., Donatti, C.I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, A., Bede, L., Brown, D., Calle, A., Chará, J., Clement, C., Gray, E., Ha Hoang, M. Minang P., Rodríguez A.M., Seeberg-Elverfeldt, C., Semroc, B., Shames, S., Smukler, S., Somarriba, E., Torquebiau, E., van Etten, J., Wollenberg, E. 2014. Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conserv. Lett.* 7: 77–90. doi: 10.1111/conl.12066
- Hatchuel, A. 2000. Interventionresearch and the production of knowledge », Cow Up a Tree, L. Group, ed., Paris, INRA, p. 55-68.
- Havet, A., Coquil, X., Fiorelli, J.L., Gibond, A., Martel, G., Roche, B., Ryschawy, J., Schaller, N., Dedieu, B. 2014. Review of livestock farmer adaptations to increase foragesin crop rotations in western France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190: 120–127. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.009>
- Herrero, M., Thornton, P. K., Notenbaert, A. M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H. A, Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy Rao, P., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C., Rosegrant, M. 2010. Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems. *Science*, 327: 822-825. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1183725>
- Hill, S.B. 1998. Redesigning agroecosystems for environmental sustainability: a deep systems approach. *Syst Res* 15:391–402. doi:10.1002/(SICI)1099-1743(1998090)15:5<391::AID-SRES266>3.0.CO;2-0
- Hillier, J. 2012. “CoolFarmTool.” Aberdeen, UK: University of Aberdeen. <https://coolfarmtool.org/>.
- Hueting, R., Reijnders, L. 2004. Broad sustainability contra sustainability: the proper construction of sustainability indicators. *Ecol. Econ.* 50: 249–260. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.03.031>.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. Nuevos Escenarios de Cambio Climático Para Colombia 2011- 2100 Herramientas Científicas Para La Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá, Colombia. <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-58>.
- IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E.

Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.

Janssen, S.J.C., Porter, C.H., Moore, A.D., Athanasiadis, I.N., Foster, I., Jones, J.W., Antle, J.M. 2017. Towards a new generation of agricultural system data, models and knowledge products: Information and communication technology. *Agric. Syst.* 155: 200-212. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.09.017>.

Jucevičius, G., Grumadaitė, K. 2014. Smart development of innovation ecosystem. *Proc. Soc. Behav. Sci.* 156: 125–129. doi: 10.1016/j.sbspro.2014.11.133

Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Pretty, J. 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7: 292–320. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0477>

Kleijnen, J.P.C., Sargent, R.G. 2000. A methodology for fitting and validating metamodels in simulation. *Eur. J. Oper. Res.* 120, 14–29. PII: S 0 3 7 7 - 2 2 1 7 (9 8) 0 0 3 9 2 - 0

Klerkx, L., Aarts, N., Leeuwis, C. 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: The interactions between innovation networks and their environment. *Agric. Syst.* 103: 390-400. doi:10.1016/j.agry.2010.03.012

Lamine, C. 2011. Transition pathways towards a robust ecologization of agriculture and the need for system redesign. Cases from organic farming and IPM. *J Rural Stud* 27:209–219. doi:10.1016/j.jrurstud.2011.02.00

Landais, E., Balent, G. 1995. Introduction à l'étude des systèmes d'élevage extensif. Etudes et recherches sur les systèmes agraires et le développement 27:13-35.

Landais, E., Lhoste, P., 1990. L'association agriculture-élevage en Afrique intertropicale: un mythe techniciste confronté aux réalités de terrain. *Cahiers des Sciences Humaines* 26 : 217–235.

Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington T., Thi Sen, P., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A., Torquebiau, E. F. 2014. Climate-Smart Agriculture for food security. *Nat. Clim. Chang.* 4: 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>

Le Bellec, F., Rajaud, A., Ozier-Lafontaine, H., Bockstaller, C., Malezieux, E. 2012. Evidence for farmers' active involvement in co-designing citrus cropping systems using an improved participatory method. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 703-714. DOI 10.1007/s13593-011-0070-9

Le Gal, P.-Y., Bernard, J., Moulin, C.-H. 2013. Supporting strategic thinking of smallholder dairy farmers using a whole farm simulation tool. *Trop. Anim. Health Prod.* 45: 1119-1129. 10.1007/s11250-012-0335-6

Le Gal, P.-Y. 2012. De l'analyse des pratiques gestionnaires à l'aide à la conception de systèmes de production agricole : Contribution à une agronomie de l'exploitation agricole et des territoires. Habilitation à diriger des recherches : Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosciences, environnement (SIBAGHE) : Université Montpellier 2. 81 p. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00660706>

Le Gal, P.-Y., Dugué, P., Faure, G., Novak, S. 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agric. Syst.* 104: 714-728. doi:10.1016/j.agry.2011.07.007

Le Gal, P.-Y. 2009. Agronomie et conception de systèmes de production innovants : concepts, démarches et outils. In : Durabilité des systèmes de culture en zone méditerranéenne : gestion

des ressources en eau et en sol. Actes du Symposium International AGDUMED, Rabat, Maroc, 14-16 mai 2006. Eds. Bouaziz A., Choukr-allah R., Mrabet R., Falisse A. s.l. : s.n., 318-328. Symposium International Agriculture durable en région méditerranéenne, Rabat, Maroc, 14 Mai 2009/16 Mai 2009.

Liu, M. 1997. Fondements et pratiques de la recherche action. Paris: l'Harmattan.

Lupo, C., Wilmart, O., Van Huffel, X., Dal Pozzo, F., Saegerman, C. 2016. Stakeholders' perceptions, attitudes and practices towards risk prevention in the food chain. Food Control 66: 158–165. doi: 10.1016/j.foodcont.2016.02.003

Malézieux, E. 2012. Designing cropping systems from nature. Agron. Sustain. Dev. 32:15–29. doi: 10.1007/s13593-011-0027-z

Manlay, R.J., Ickowicz, A., Masse, D., Floret, C., Richard, D., Feller, C. 2004a. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village in the West African savanna—I. Element pools and structure of a mixed-farming system. Agric. Syst. 79: 55–81. doi:10.1016/S0308-521X(03)00053-2

Manlay, R.J., Ickowicz, A., Masse, D., Feller, C., Richard, D. 2004b. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna—II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. Agric. Syst. 79: 83–107. DOI: 10.1016/S0308-521X(03)00054-4

March, J. G. 1991, Exploration and Exploitation in Organizational Learning. Organization Science 2: 71-87. <http://www.jstor.org/stable/2634940>

Martin, G., Felten, B., Duru, M. 2011. Forage Rummy: A Game to Support the Participatory Design of Adapted Livestock Systems. Environ. Modell. Softw. 26: 1442-1453. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.08.013

Martinez Baron, D., Orjuela, G., Renzoni, G., Loboguerrero Rodríguez, A.M., Prager, S. 2018. Small-scale farmers in a 1.5°C future: The importance of local social dynamics as an enabling factor for implementation and scaling of climate-smart agriculture. Curr Opin Env Sust. 31 : 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.013>

Meynard, J-M., Jeuffroy M-H., Le Bail M., Lefèvre A., Magrini, M-B, Michone, C. 2017. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. Agric. Syst. 157, 330–339. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>

Meynard, J.-M., Dedieu, B., Bos, A.-P. 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: *Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic* (I. Darnhofer, D. Gibbon, B. Dedieu, eds), Springer, 407-432.

Michel, I., Barbier, J.M., Mouret, J.-C., 2018. La Camargue rizicole : un laboratoire à ciel ouvert pour former des ingénieurs agronomes, In: *Le Riz et la Camargue. Vers des agroécosystèmes durables* (Mouret J.-C., Leclerc B., coord.), Cardère – Éducagri, 71-81.

Moraine, M., Grimaldi, J., Murgue, C., Duru, M., Therond, O. 2016. Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. Agric. Syst. 147, 87-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.002>

Moraine, M., Duru, M., Nicholas P., Leterme, P. Therond, O. 2014. Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. Animal 8: 1204–1217 doi:10.1017/S1751731114001189

Moreau, P., Ruiz, L., Vertes, F., Baratte, C., Delaby, L., Faverdin, P., Gascuel-Oudou, C., Piquemal, B., Ramat, E., Salmon-Monviola, J., Durand, P. 2013. CASIMOD’N: an agro-

- hydrological distributed model of catchment-scale nitrogen dynamics integrating farming system decisions. *Agric. Syst.* 118: 41-51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agry.2013.02.007>
- Naudin, K., Bruelle, G., Salgado, P., Penot, E., Scopel, E., Lubbers, M., De Ridder, N., Giller, K.E. 2015. Trade-offs around the use of biomass for livestock feed and soil cover in dairy farms in the Alaotra lake region of Madagascar. *Agric. Syst.* 134: 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.03.003>
- Nederlof, S., Wongtschowski, M., van der Lee, F. 2011. Putting heads together. Agricultural innovation platforms in practice. (F. van der Nederlof, S., Wongtschowski, M., Lee, Ed.), Notes and Queries (Mundie Sal, Vol. Bulletin 3). Amsterdam, The Netherlands: KIT Publishers.
- Neef, A., Neubert, D. 2011. Stakeholder participation in agricultural research projects: a conceptual framework for reflection and decision-making. *Agric. Hum. Values* 28: 179–194. <http://dx.doi.org/10.1007/s10460-010-9272-z>.
- Nziguheba, G., Palm, C. A., Berhe, T., Denning, G., Dicko, A., Diouf, O., Diru, W., Flor, R., Frimpong, F., Harawa, R., Kaya, B., Manumbu, E., McArthur, J., Mutuo, P., Ndiaye M., Niang, A., Nkhoma, P., Nyadzi, G., Sachs, J., Sullivan, C., Teklu, G., Tobe, L., Sanchez, P. A. 2010. The African Green Revolution: Results from the Millennium Villages Project. *Adv. Agron.* 109: 75-115. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385040-9.00003-7>
- Okike, I., Jabbar, M. A., Manyong, V. M., Smith, J. W. 2005. Ecological and socioeconomic factors affecting agricultural intensification in the West African savannas: Evidence from Northern Nigeria. *J. Sustainable Agric.* 27: 5–37. doi:10.1300/ J064v27n02_03.
- Osty P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système : diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bulletin Technique d'Information – ministère de l'agriculture*, 326: 43-49.
- Pali, P., Swaans, K. 2013. Guidelines for innovation platforms: Facilitation, monitoring and evaluation. ILRI Manual 8. Nairobi, Kenya.
- Pavé, A. 2005. La modélisation et la simulation des objets et processus complexes. *Questions scientifiques, méthodologiques et éthiques. Nat. Sci. Soc.* 13 : 169-171.
- Pigford, A. A. E., Hickey, G. M., Klerkx, L. 2018. Beyond agricultural innovation systems? Exploring an agricultural innovation ecosystems approach for niche design and development in sustainability transitions. *Agric. Syst.* 164: 116–121. <http://doi.org/10.1016/j.agry.2018.04.007>
- Pimbert, M. 2015. Agroecology as an Alternative Vision to Conventional Development and Climate-Smart Agriculture. *Development* 58 : 286–98. <https://doi.org/10.1057/s41301-016-0013-5>.
- Prost, L., Reau R Paravano, L., Cerf, M., Jeuffroy, M-H. 2018. Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. *Lessons from a case study. Agric. Syst.* 164: 122-132.
- Prost, L., Berthet, E.T., Cerf, M., Jeuffroy, M.-H., Labatut, J., Meynard, J.-M., 2017. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Res. Eng. Des.* 28 : 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.04.009>
- Prost L., Berthet E.T.A., Cerf M., Jeuffroy M.-H., Labatut J., Meynard J-M., 2016. Innovative design for agriculture in the move towards sustainability: scientific challenges. *Research in Engineering Design*, Springer Verlag, DOI 10.1007/s00163-016-0233-4.
- Rapidel, B., Traore, B.S., Sissoko, F., Lancon, J., Wery, J. 2009. Experiment-based prototyping to design and assess cotton management systems in West Africa. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 545-

556. <https://doi.org/10.1051/agro/2009016>

Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K., West, P.C., 2015. Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nat. Commun.* 9, <https://doi.org/10.1038/ncomms698>.

Ritzema, H., Froebrich, J., Raju, R., Sreenivas, C., Kselik, R. 2010. Using participatory modelling to compensate for data scarcity in environmental planning: A case study from India. *Environ. Modell. Softw.* 25: 1450-1458. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.010>

Rodriguez, D., Cox, H., DeVoi, P., Power, B. 2014. A Participatory Whole Farm Modelling Approach to Understand Impacts and Increase Preparedness to Climate Change in Australia. *Agric. Syst.* 126: 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.04.003>.

Rodríguez-Sanchez, S.V., Pla-Aragones, L.M., Albornoz, V.M. 2012. Modeling tactical planning decisions through a linear optimization model in sow farms. *Livest.Sci.* 143: 162-171. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.09.006>

Röling, N. G. 1994. Platforms for Decision Making about Ecosystems. In: *The Future of the Land Mobilising and Integrating Knowledge for Land Use Options*. Edited by L.O. Fresco, L. Stroosnijder, J. Bouma, and H. van Keulen. The future. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd.

Saba, M., Bruté De Rémur, D., Gerbaix, S. 2014. ICT implementation. Going beyond expectations? An essay of interpretation through competitive intelligence. *Int. strateg. manag. rev* 2: 46–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ism.2013.11.001>

Sabourin, E. Caron, P. 2003. 'Origem e evolução da agricultura familiar no Nordeste semi-arido', in P. Caron and E. Sabourin (Eds) *Camponeses do Sertão. Mutação das agriculturas familiares no Nordeste do Brasil*, Brasília: Embrapa, pp.29±45.

Saj, S., Torquebiau, E., Hainzelin, E., Pages, J., Maraun, F. 2017. The way forward: An agroecological perspective for Climate-Smart Agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 250: 20–24. URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.003>

Salembier, C., Segrestin, B., Berthet, E., Weil, B., Meynard, J.M. 2018. Genealogy of design reasoning in agronomy: lessons for supporting the design of agricultural systems. *Agric. Syst.* 164: 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.005>

Spielman, D., Ekboir, J., Davis, K. 2009. “The Art and Science of Innovation Systems Inquiry: Applications to Sub-Saharan African Agriculture.” *Technol. Soc.* 31: 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2009.10.004>.

Schaible, G.D., Aillery, M.P. 2017. Challenges for US Irrigated Agriculture in the Face of Emerging Demands and Climate Change. In: *Competition for Water Resources. Experiences and Management Approaches in the US and Europe* (J.R. Ziolkowska, J.M. Peterson, eds), Elsevier, 44-79.

Scherr, S. J., Shames, S., Friedman, R. 2012. From climate-smart agriculture to climate-smart landscapes. *Agric & Food Secur.* 1, 12. <http://doi.org/10.1186/2048-7010-1-12>

Schröter, B., Matzdorf, B., Sattler, C., Garcia Alarcon, G. 2015. Intermediaries to foster the implementation of innovative land management practice for ecosystem service provision – a new role for researchers. *Ecosyst. Serv.* 16: 192–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.10.007>.

Smith P., M. Bustamante, H. Ahammad, H. Clark, H. Dong, E. A. Elsiddig, H. Haberl, R. Harper, J. House, M. Jafari, O. Masera, C. Mbow, N. H. Ravindranath, C. W. Rice, C. Robledo Abad, A. Romanovskaya, F. Sperling, and F. Tubiello, 2014: Agriculture, Forestry and Other

Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Stark, F., Fanchone, A. 2014. Le concept d'intégration au cœur de la conception d'un pilote en polyculture-élevage adapté aux exploitations agricoles de Guadeloupe. *Innovations Agronomiques* 39 : 113-124.

Steenwerth, K., Hodson, A., Bloom, A., Carter, M., Cattaneo A., Chartres, C., Hatfield, J. L., Henry, K., Hopmans, J. W., Horwath, W. R., Jenkins B. M., Kebreab, E., Leemans, R., Lipper, L., Lubell, M.N., Msangi, S., Prabhu, R., Reynolds, M. P., Sandoval Solis, S., Sisco, W.M., Springborn, M., Tittonell, P., Wheeler, S.M, Vermeulen, S.J., Wollenberg, E.K, Jarvis, L.S, Jackson, L.E. 2014. Climate-smart agriculture global research agenda: scientific basis for action. *Agric & Food Secur* 3: 1–39. doi:10.1186/2048-7010-3-11.

Sumberg, J. 1998. Mixed farming in Africa: the search for order, the search for sustainability. *Land Use Pol.* 15: 293–317. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(98\)00022-2](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(98)00022-2)

Swaans, K., Cullen, B., van Rooyen, A., Adekunle, A., Ngwenya, H., Lema, Z. Nederlof, S. 2013. Dealing with critical challenges in African innovation platforms: Lessons for facilitation. *Knowledge Management for Development Journal* 9: 116–135 <http://journal.km4dev.org/>.

Tenywa, M. M., Rao, K. P. C., Tukahirwa, J. B., Buruchara, R., Adekunle, A. A., Mugabe, J., Wanjiku, C., Mutabazi, S., Fungo, B., Kashaija, N. I., Pali, P., Mapatano, S., Ngaboyisonga, C., Farrow, A., Njuki, J. Abenakyo, A. 2011. Agricultural innovation platform as a tool for development oriented research: lessons and challenges in the formation and operationalization. *Learning Publics Journal of Agriculture and Environmental Studies* 2: 117–146.

Thiele, G., Bernet, T. 2005. Conceptos, Pautas y Herramientas: Enfoque Participativo en Cadenas Productivas y Plataformas de Concertación. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Peru. doi:10.1017/CBO9781107415324.004

Therond, O., Duru, M. Roger-Estrade J., Richard G. 2017. A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37: 21. DOI 10.1007/s13593-017-0429-7

Tui, S. H. K., Adekunle, A., Lundy, M., Tucker, J., Birachi, E., Schut, M., Klerkx, L., Ballantyne, P., Duncan, A., Cadilhon, J., Mundy, P. 2013. What are innovation platforms ? (Innovation platforms practice brief). *Innovation platforms practice brief 1* (Vol. 1). Retrieved from <http://r4d.dfid.gov.uk/pdf/outputs/WaterfoodCP/Brief1.pdf>

Tonneau, J.P., Sabourin, E., da Silveira, L.M., Sidersky, P. 2002. Modélisation des flux de biomasse : une approche de la fertilité dans l'agreste de la Paraíba (Brésil). *Cah. Agric.* 11 : 127–136.

Van Moere, C., Blanchard, M., Andrieu, N., Vall, E., Huyen Le Thi Thanh. 2018. Co-conception de scénarios d'affouragement agroécologiques dans la région des montagnes du Nord du Vietnam. In : Abstracts of the 3R - Rencontres Recherches Ruminants. Paris : INRA, IDELE, 1 p. 3R - Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. 24, 2018-12-05/2018-12-06, Paris (France).

Vall, E., Dugue, P., Blanchard, M. 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cah. Agric.* 15 : 72-79.

- Vergez, A. 2011. Intensifier l'agriculture en Afrique, réponse aux défis alimentaires environnementaux ? *Afr. contemp.* 237: 29-43.
- Vermeulen, S.J., Campbell, B.M., Ingram, J.S.I. 2012. Climate change and food systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 37: 195–222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>.
- Vermeulen, S.J., Challinor, A.J., Thornton, P.K., Campbell, B.K., Eriyagama, N., Vervoort, J.M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Nicklin, K.J., Hawkins, E., Smith, D.R. 2013. Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture. *PNAS*, 110, 8357-8362. DOI: 10.1073/pnas.1219441110
- Vinck, D. 1999. Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue française de sociologie* 40 : 385-414.
- Voinov, A., Bousquet, B. 2010. Modelling with stakeholders. *Environ. Modell. Softw.* 25 : 1268-1281. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2010.03.007>
- Alexander Wezel, Marion Casagrande, Florian Celette, Jean-François Vian, Aurélie Ferrer, et al. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2014, 34 (1), pp.1-20. <10.1007/s13593-013-0180-7>. <hal-01234800>
- Wigboldus, S., Klerkx, L., Leeuwis, C., Schut, M., Muilerman, S., & Jochemsen, H. 2016. Systemic perspectives on scaling agricultural innovations. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 46. <http://doi.org/10.1007/s13593-016-0380-z>
- Zarazúa-escobar, J.A., Almaguer-vargas, G., Márquez-berber, S.R., 2011. Redes de Innovacion en el sistema productivo Fresa en Zamora, Michoacan. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 17: 51-60. ISSN 2007-4034.